



4S

Microplásticos, un macrodesafío

M. C. Tania Paulina Gil Cortés

Ing. José Luis Quijano Mendoza

Ing. Luis Édgar Espinoza Castillo

Dra. Ángela Francisca Ku González

Dr. José Manuel Cervantes Uc

Dra. Nayeli Rodríguez Fuentes

Unidad de Materiales (Laboratorio de Biomateriales)

Descripción

Las y los participantes conocerán acerca de la ubicuidad de los **microplásticos** y cómo identificarlos en la vida cotidiana; descubrirán el macrodesafío que representan estos microcontaminantes en la salud humana y en los ecosistemas, y adquirirán conciencia sobre la importancia de aminorar el uso y producción de estas micropartículas.

Objetivo general

Identificar el macrodesafío que representa la ubicuidad de los microplásticos en su contacto con los seres vivos.



Materias afines

- Biología.
- Física.
- Química.
- Tecnología.

¿Qué vas a aprender?

- Microplásticos, su distribución y sus efectos.
- Identificación de microplásticos.
- Degradación de polímeros.
- Acciones para aminorar la generación de microplásticos.
- El método científico.



Pregunta inicial

¿Por qué los microplásticos representan un macrodesafío?



PANORAMA GENERAL DEL TEMA

Desde que los **plásticos** fueron introducidos a la sociedad occidental en la década de los cincuenta, la liberación de estos materiales al medio ambiente, ya sea accidental o deliberadamente, ha llevado a la contaminación de los ecosistemas. Este problema se ha extendido por todo el planeta, incluyendo regiones tan lejanas como la Antártida (Convey et al., 2002), lagos montañosos remotos (Free et al., 2014) e incluso el lecho oceánico más profundo, ambientes que hipotéticamente deberían estar libres del impacto humano (Barnes et al., 2009; Hanvey et al., 2017).

Los desechos plásticos presentes en el medio ambiente se han clasificado de muchas maneras; tal vez la más común es de acuerdo a la naturaleza de estos materiales poliméricos, por lo que entonces, se puede hablar de plásticos como el polietileno tereftalato (PET), el polietileno (PE), el policloruro de vinilo (PVC), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), entre otros.

La naturaleza (tipo) de los plásticos encontrados en el medio ambiente, varía en función de la muestra analizada (agua, tierra, aire, sedimentos, etc.), el país o región, localización geográfica, entre otros factores. Así, mientras Hanvey et al. (2017) reportan que los plásticos que se encuentran en

mayor proporción como contaminantes del mar son el PE, PP y PS, Talvitie et al. (2017) identificaron 13 **polímeros** en muestras de efluentes de agua de desecho. Por su parte, Lares et al. (2018) detectaron la presencia de PET, PE, poliamidas (también llamadas nylons), entre otros, en muestras de sedimentos (lodos).

Otra manera de clasificar a los desechos plásticos es tomando en cuenta su tamaño. En la **Tabla 1** se presentan los nombres propuestos para este tipo de materiales según su tamaño.

Tabla 1. Terminología propuesta por Hanvey et al. (2017) para clasificar a los plásticos.

Intervalo de tamaño	Término propuesto
>20 cm	Macroplásticos
5-20 cm	Mesoplásticos
1-5 mm	Microplásticos grandes
1-1000 µm	Microplásticos pequeños
<1000 nm	Nanoplásticos

Conviene señalar que el término «microplástico» (MPs) fue acuñado en el 2009 durante un taller internacional de investigación sobre la ocurrencia, efectos y des-



tino de los desechos plásticos marinos, organizado por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica del gobierno de los Estados Unidos. Esta palabra fue empleada para referirse a todas aquellas partículas plásticas menores de 5 mm; a pesar de lo anterior, existen reportes sobre la presencia de MPs en sedimentos desde el 2004, donde se usaba esta palabra para referirse a las partículas menores de 1 mm. Debido a la fecha de publicación, varios autores y autoras han continuado con esta definición.

El establecimiento de límites en los intervalos de tamaños señalados en la **Tabla 1** también ha sido motivo de polémica porque la mayoría de las y los investigadores acepta el hecho de que usar mallas de 333 µm para recolectar muestras de MPs retiene también plancton y otros desechos flotantes; además, se ha reportado que el tamaño más pequeño del que se puede recolectar muestras del medio ambiente es de 1 µm. A pesar de todo lo anterior, es muy difícil detectar visualmente plásticos menores a 100 µm, aun usando un microscopio.

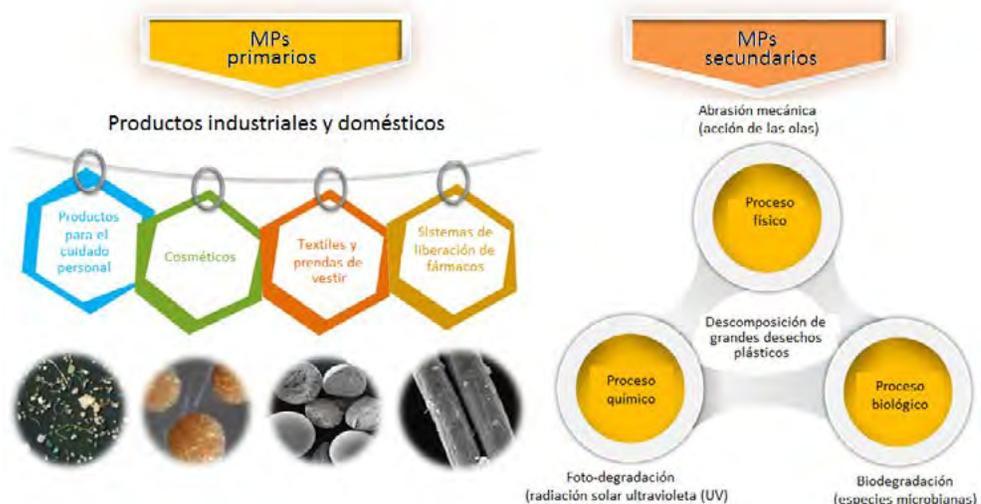
Por otra parte, los MPs han sido clasificados según la forma en que se genera la micropartícula (Browne et al., 2011); de esta forma, los MPs han sido divididos en:

1. **MPs primarios.** Aquellos preparados originalmente de tamaño micrométrico, como las partículas incorporadas a productos de cuidado personal como cosméticos, pastas dentales, etc., e incluyen a los pellets y microperlas.
2. **MPs secundarios.** Aquellos que son obtenidos por la fragmentación, ya sea mecánica o química, de desechos plásticos más grandes, como por ejemplo las fibras liberadas de los textiles sintéticos (llamados como microfibras).

La importancia de estudiar los MPs radica en que, hasta ahora, se desconocen los efectos que este tipo de partículas pueden producir en los diferentes seres vivos que habitan un ecosistema. Incluso algunos investigadores e investigadoras, como Helm (2017), han planteado preguntas de investigación como: ¿cuáles y cuántos MPs están en nuestras aguas?, ¿de dónde provienen los MPs?, ¿qué daño causan los MPs?, y ¿qué podemos hacer para reducir la presencia de MPs en el medio ambiente?

Es por esto que el tema de los MPs es considerado un macrodesafío. En la **Figura 1** se muestran las fuentes principales de los MPs marinos.

Figura 1. Fuentes de MPs marinos. Se muestra el origen de los MPs y las diversas formas y colores (Tomada y modificada de Wang & Li, 2018).





PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto despertará el interés por el cuidado del medio ambiente a través de actividades experimentales que permiten la reflexión sobre la contaminación por MPs.

¿Sabías que se han encontrado MPs en todos los ecosistemas, así como en lugares tan remotos y escasos de actividad humana como la Antártida?

¡Esto sí es un desafío enorme! Para dimensionar su potencial impacto en la salud humana, observarás MPs en actividades domésticas y en contacto con **células** humanas, para finalmente plantear alternativas que permitan afrontar este macrodesafío.

La **Figura 2** representa la presencia de MPs en lugares tan lejanos como la Antártida.



Figura 2. Antártida con MPs (Elaboración: Rodríguez-Fuentes, N., 2023).



DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



Actividad 1. Fabricando microplásticos en casa



Pregunta de investigación

¿Estoy fabricando cotidianamente MPs en mi casa?



Objetivo

Cuantificar los MPs de la lavadora, registrar sus características y analizar el impacto que tienen.



Lista de materiales

- Frasco de vidrio transparente (de al menos 400 ml).
- Agua restante del lavado de ropa.
- Un pedazo de tela 10 x 10 cm (TUL 70 LISO BLANCO).
- Botella de plástico vacía de 1 litro.
- Ligas de hule.
- Bote de plástico de ½ litro.
- Lupa, microscopio o estereoscopio.
- Bata.



Desarrollo

1. Recolectar agua restante del lavado de ropa en casa en un frasco de vidrio con tapa.
2. Vaciar el agua en la botella de plástico.
3. Colocar el pedazo de tela en la boquilla de la botella con la liga de hule.
4. Voltear la botella hacia el bote de plástico para dejar caer el agua.
5. Retirar con cuidado la tela de la botella.
6. Observar los MPs con el microscopio, estereoscopio o lupa.
7. Realizar un conteo de los MPs.
8. Registrar su forma y color.
9. Analizar su posible impacto en el medio ambiente y los seres vivos.
10. Generar propuestas para aminorar la producción de MPs al lavar.



Figura 3. Desarrollo experimental de la Actividad 1 (Fotografías: Gil Cortés, T. P., 2023).

Notas

- El agua recolectada puede provenir también de una cubeta del lavado a mano.
- El frasco de vidrio donde se colecte el agua y la botella de plástico deben estar muy limpios.
- Al tomar la tela, evitar tocarla del centro para minimizar la **contaminación cruzada**.
- Se puede emplear una lupa en vez de microscopio, incluso un celular y maximizar la imagen.





Lo que debes saber



Los MPs son plásticos con diámetro de <5 mm, pueden presentarse en diversas formas como esferas, pellets, fragmentos, fibras y películas. También pueden tener cualquier color que te imagines, como negro, blanco, rojo, azul, verde, amarillo, etc. (Hirt, et al., 2020; Lebreton et al., 2018; Frias, et al., 2019).

Estas micropartículas se obtienen del desgaste de plásticos más grandes, como bolsas de plástico, botellas de agua, ropa, envoltorios, etc. (MPs secundarios). También los podemos encontrar previamente fabricados de un tamaño <5 mm en productos de higiene personal, como la pasta dental, cremas, exfoliantes, maquillaje, entre otros (MPs primarios) (Hirt, et al., 2020; Porte Visa, 2022).

¡Los podemos encontrar en cualquier lado! Los MPs están en todas partes, en el aire que respiramos, en el agua de los ríos y mares, en nuestra comida, en nuestras casas, escuelas, oficinas, los parques, en el suelo, hasta en la Antártida (Brouwer et al., 2022).

Se han encontrado MPs en las playas de la península de Yucatán, en el sargazo del Caribe y en cenotes y pozos de la región. La mayoría de estos tienen forma de fibra de color transparente, blanco, azul y negro (Mendoza-Olea et al., 2022). En la **Figura 4** se muestran las vías de acceso de los MPs al ser humano, así como la presencia de estos microcontaminantes en todos los ecosistemas.

Los MPs tienen alta compatibilidad y afinidad con otros contaminantes que se encuentran en el ambiente, como los plaguicidas, hidrocarburos, bifenilos policlorados, entre otros (Bouwmeester et al., 2015). Esto hace a los MPs un contaminante muy pequeño, pero potente, debido a que posee contaminantes adheridos. Otro dato curioso es que a los MPs se les pueden

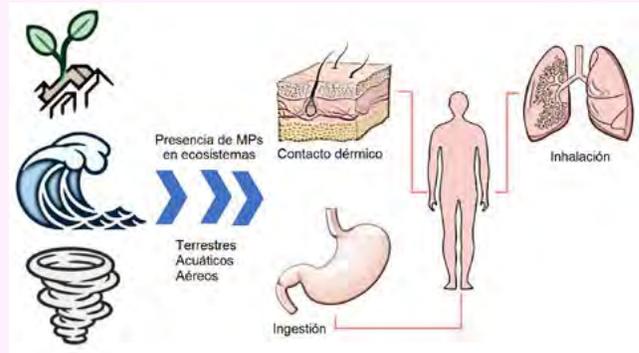


Figura 4. MPs y su contacto con los seres humanos (Imagen: Rodríguez-Fuentes, N., 2023).

adherir microorganismos convirtiéndose en arrecifes microbianos!

¿Sabías que al lavar 6 kg de ropa se pueden liberar hasta 700 000 microfibras? Si nuestras prendas son de nylon u otros tipos de textiles plásticos, entonces ¡estas microfibras serán también una forma de MPs! (Napper & Thompson, 2016). En la **Figura 5** se muestra la generación de MPs en la lavadora.



Figura 5. MPs y el lavado de ropa (Imagen: Gil Cortés, T. P., 2023).

Si quieres saber cómo afectan los MPs a las especies marinas, consulta este video:

Dragondeluz

«**Cómo afectan los desechos plásticos a los animales en el océano**»

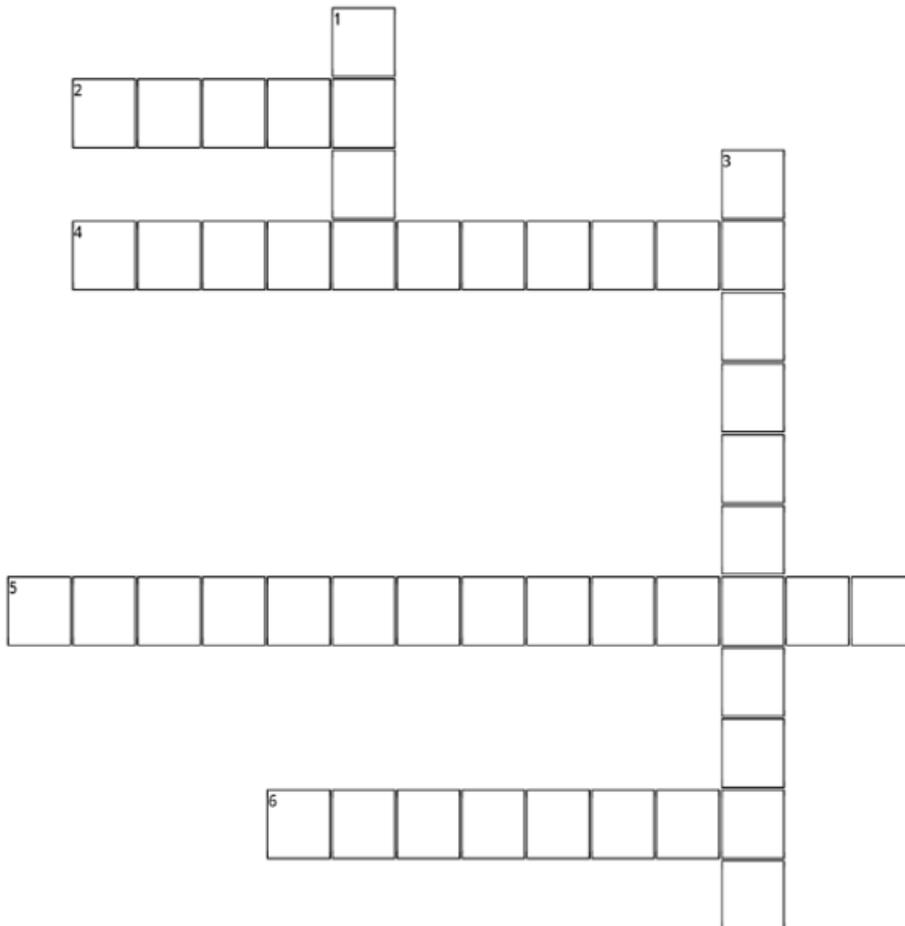
Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=h9Lw2wpZEwE>





Si quieres retar tu conocimiento sobre MPs y el lavado de ropa, resuelve este crucigrama.

ACTIVIDAD DE EVALUACIÓN 1



HORIZONTALES

- 2. Es la forma más común de MPs que se han encontrado en la península de Yucatán.
- 4. En este producto que usamos tres veces al día, podemos encontrar MPs.
- 5. Contaminantes derivados de los plásticos, menores a 5 mm.
- 6. La podemos encontrar en casa y fabrica MPs.

VERTICALES

- 1. Es un lugar donde pasamos mucho tiempo y podemos encontrar los MPs.
- 3. Los MPs tienen afinidad con este contaminante.

Para concluir

Es importante conocer este **contaminante emergente** y saber que se puede encontrar en actividades cotidianas. Conociendo esto, es posible buscar alternativas para reducir el uso de plásticos, a la vez que hacemos una adecuada **disposición final** de los que ya utilizamos.



Actividad 2. Los microplásticos de las fiestas (degradación polimérica)



Pregunta de investigación

¿Cómo afectan los procesos de degradación la estructura de un plástico?



Objetivo

Identificar cuáles procesos químicos y físicos generan microplásticos a partir de macroplásticos.



Lista de materiales

- 3 platos de unigel.
- Tijera.
- 6 frascos de vidrio con tapa.
- 200 ml de refresco de cola.
- 200 ml de vinagre blanco.
- 100 ml de agua potable o destilada.
- 100 ml de acetona.
- Parrilla o estufa.
- Termómetro.
- Pinzas.
- 6 jeringas sin aguja de 20 ml.
- 6 botellas de plástico.
- Un pedazo de tela 10 x 10 cm (tul 70 liso blanco).
- Ligas.
- Microscopio o estereoscopio.



Desarrollo

1. Cortar los platos de unigel en tiras de aproximadamente 5 cm de largo.
2. Introducir 8 tiras en cada uno de los 6 frascos de vidrio.
3. Verter sobre las tiras de unigel: 100 ml de refresco en dos frascos, 100 ml de vinagre en dos frascos, 100 ml de agua en un frasco y 100 ml de acetona en un frasco. Después de esto, cerrarlos con sus tapas correspondientes.
4. Calentar directamente a fuego alto (90 °C) sobre una parrilla o estufa, un frasco con refresco, uno con vinagre y uno con agua durante 1 hora.
5. Reducir la temperatura de calentamiento a fuego lento (50 °C) y dejar calentar durante 18 horas o toda la noche.
6. Retirar del fuego las muestras y dejarlas reposar a temperatura ambiente durante media hora.
7. Destapar los frascos y con la ayuda de una pinza, retirar las tiras de unigel.
8. Con ayuda de las jeringas, verter el contenido de las soluciones dentro de las botellas de plástico.
9. Colocar un pedazo de tela en la boca de cada botella y fijarlos con una liga.
10. Verter el contenido de las botellas en los frascos de vidrio correspondientes.
11. Retirar con cuidado las telas de las botellas, ya que ahí se encuentran los MPs.
12. Observar las telas en un microscopio o en un estereoscopio.



Figura 6. Desarrollo experimental de la Actividad 2 (Fotografías: Quijano Mendoza, J. L., 2023).

Notas



- Etiquetar los frascos con el nombre de cada líquido (agua, refresco, vinagre, acetona).
- Al final tendrás 2 frascos con refresco, 2 con vinagre, 1 con acetona y 1 con agua.
- No calentar el frasco que contiene acetona porque puede liberar gases tóxicos.
- Checar la temperatura de calentamiento, dentro del frasco, con un termómetro.
- Repetir los pasos 7 a 11 para todas las soluciones (con excepción de la acetona).
- Puedes usar una lupa o un celular y amplificar la imagen.

Lo que debes saber



El unicel es un tipo de plástico constituido por poliestireno, al que se le introduce aire en su masa formando burbujas. Este proceso es conocido como espumado. La composición de este material es 5% materia prima y 95% aire, por eso es tan ligero. Se identifica por un triángulo equilátero y el número 6 en la parte central, además de las letras PS (Asociación Nacional de la Industria Química, 2020). En la **Figura 7** se esquematiza el proceso de obtención del unicel.

Como todo polímero, el unicel está sujeto a degradación polimérica. La degradación en sí es un cambio irreversible que involucra la reducción de algo a un estado menos complejo. En la ciencia de polímeros se refiere a un proceso complejo mediante el cual un material polimérico expuesto al medioambiente y la carga de trabajo, pierde sus propiedades originales (Vohlídal, 2020).

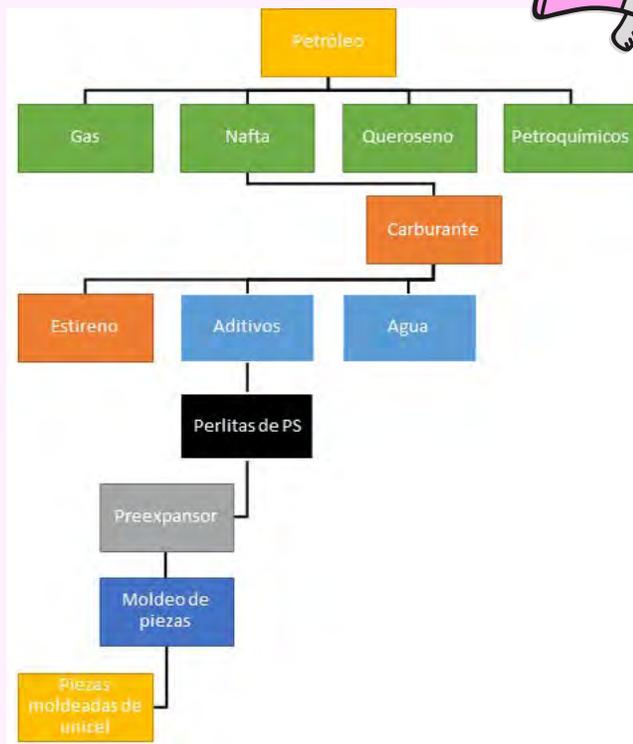


Figura 7. Obtención del unicel (Esquema obtenido y modificado de Asociación Nacional de la Industria Química, 2020).

La degradación de polímeros involucra diversos procesos físicos y/o químicos acompañados de cambios estructurales, los cuales dan como resultado un deterioro significativo en la calidad del material (por ejemplo, una pérdida en las propiedades mecánicas, eléctricas o estéticas). Esto resulta en la pérdida de su funcionalidad (Kumar, et al. 2009).

En la **Tabla 2** se presentan los tipos de degradación polimérica junto con sus causas.

La degradación térmica ocurre debido a que el incremento en la temperatura amplifica las **vibraciones intramoleculares** y acelera cambios conformacionales en la estructura interna del polímero, haciendo que esta se degrade (Vohlidal, 2020).

Tabla 2. Tipos de degradación polimérica (Kumar, et al. 2009).

Tipo de degradación polimérica	Causa/factor ambiental
Fotodegradación	Luz visible y luz UV
Biodegradación	Micro y macroorganismos, enzimas
Degradación térmica	Calor
Degradación oxidativa	Oxígeno, ozono
Degradación ultrasónica	Ultrasonido
Degradación a altas energías	Rayos x, α , β y γ
Degradación química	Ácidos, bases, sales, gases reactivos, solventes, agua
Degradación mecánica	Tensión, fatiga
Envejecimiento eléctrico	Campo eléctrico, descargas eléctricas
Degradación corrosiva	Plasma
Degradación abrasiva	Fuerzas abrasivas, tensión medioambiental, desgaste físico

En la degradación fotoquímica, la radiación altera algunos grupos químicos en la estructura del polímero generando **radicales**. Dependiendo de la estructura polimérica y de las condiciones ambientales, las especies fotogeneradas pueden provocar una **despolimerización** y/o generar varias reacciones subsecuentes que provocan la ruptura, reforzamiento y/o modificación de las moléculas poliméricas (Vohlidal, 2020).

En la degradación mecanoquímica, una macromolécula lineal, como los polímeros, puede romperse mecánicamente en dos fragmentos (Vohlidal, 2020). Cuando alguien rompe una banda elástica, realmente está quebrando muchos enlaces químicos pertenecientes a la red original de la macromolécula.



La degradación oxidativa es un fenómeno que provoca la corrosión de los polímeros expuestos al aire. Puede iniciarse de manera intencional o espontáneamente. En este último caso, se le denomina autooxidación (Vohlídal, 2020). Una degradación oxidativa típica muestra un periodo largo de inducción, en el cual se forman y acumulan en el polímero grupos hidroperoxilo (-OOH), y un periodo corto, en el cual se inicia la descomposición bimolecular, lo que acelera la velocidad de degradación y como resultado el polímero pierde rápidamente sus propiedades originales. Por consiguiente, se puede notar que no ocurren cambios en las propiedades de un polímero durante años y luego se presenta una rápida reducción en su calidad en cuestión de semanas o meses (Vohlídal, 2020).

El conocer los distintos mecanismos de degradación polimérica ha permitido el

desarrollo de estabilizadores, los cuales son sustancias que permiten mejorar el desempeño del material. Por otro lado, estos mecanismos han permitido elaborar sustancias que producen plásticos degradables para preservar el medioambiente (Kumar, et al. 2009). En la **Figura 8** se muestran las etapas del proceso de biodegradación de bolsas domésticas de plástico.

Si quieres saber más sobre el proceso de reciclado del uniceL, consulta este vídeo:

NotimexTV

«El uniceL, una opción amigable con el ambiente»

<https://m.youtube.com/watch?v=TRG0vsOjP68>

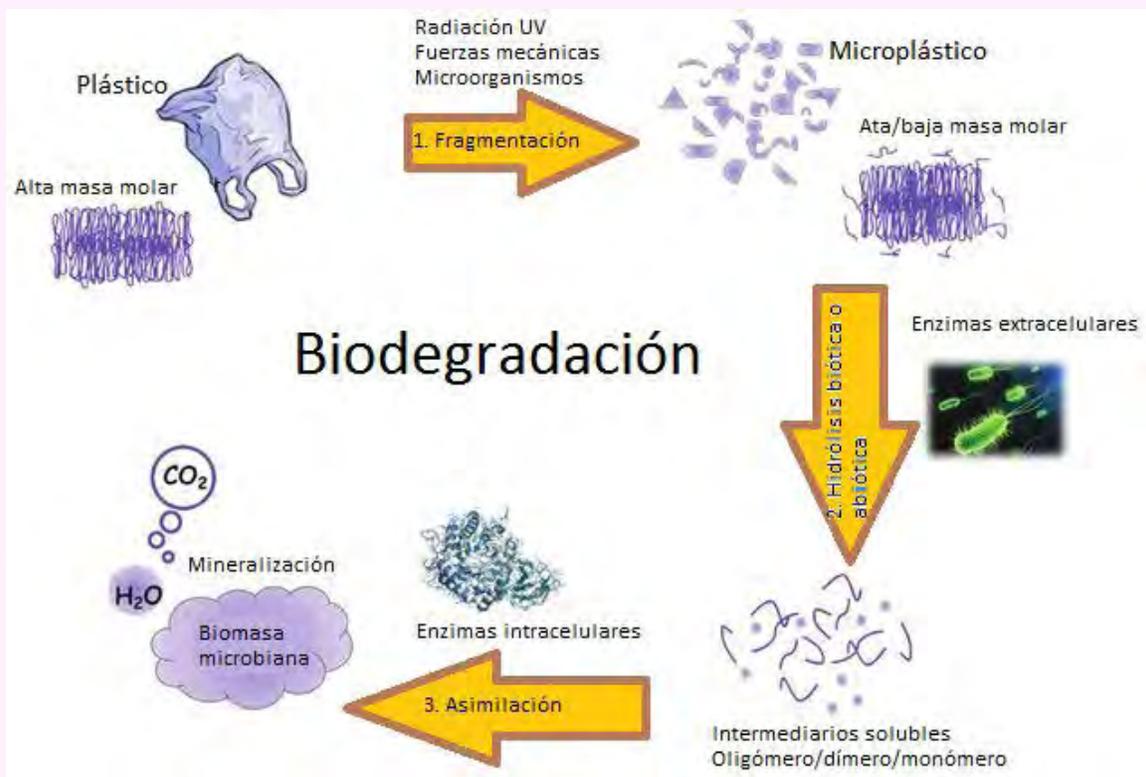


Figura 8. Biodegradación del plástico (Tomado y modificado de Ge-Xia et al., 2021).



Si quieres retar tu conocimiento sobre la degradación de MPs de unicel, resuelve el cuestionario.

ACTIVIDAD DE EVALUACIÓN 2

Degradación polimérica

1. ¿Cómo se llama el proceso mediante el cual se obtiene unicel a partir de poliestireno?
2. ¿En qué consiste la degradación polimérica?
3. ¿A qué tipo de degradación contribuye el calor?
4. Menciona los factores que contribuyen a la degradación química
5. Durante la actividad se presentaron distintos mecanismos de degradación para el unicel, ¿cuál sería un ejemplo de degradación mecánica?
6. Tal y como se vio en la actividad, el uso de la acetona degrada casi al instante el unicel. ¿Qué clase de degradación estaría ocurriendo?

Para concluir

Al final del experimento se generaron MPs secundarios, los cuales son resultado de una inicial degradación mecánica (corte de tiras), seguida de un proceso de degradación química (incubación con acetona) y, en algunos casos, una subsecuente degradación térmica (calentamiento).

Se eligieron 4 líquidos para poner en contacto con el unicel: el agua, una sustancia neutra; el vinagre, una sustancia ácida que contiene ácido acético; el refresco, una sustancia oxidante que contiene dióxido de carbono en estado gaseoso; y la acetona, un disolvente orgánico que se utiliza para la fabricación de plásticos.

Como se observó en la actividad, el unicel resultó ser soluble en disolventes orgánicos como la acetona, y resistente a soluciones neutras, ácidas y oxidantes; de ahí que sea tan difícil degradarse en ambientes naturales, por lo que puede perdurar en los ecosistemas por largos periodos de tiempo, ya que es muy resistente a la degradación química.

Por otro lado, es sensible a la degradación mecánica, como se observó al cortarlo. Incluso, la degradación térmica (cuando calentamos las soluciones), no promueve una degradación significativa en el unicel, debido a su resistencia térmica.

Se debe reflexionar sobre el uso desmedido de productos de unicel de un solo uso. ¿Qué ideas tienes al respecto?



Actividad 3. Las células y los MPs



Pregunta de investigación

¿Las células interactúan con los MPs?



Objetivo

Observar la interacción de MPs con células humanas.



Lista de materiales

- 2 abatelenguas de madera.
- 2 portaobjetos de cristal.
- 2 cubreobjetos de cristal.
- Etanol al 70%.
- Encendedor o mechero.
- Colorante cristal violeta 0.4% o colorante vegetal rojo.
- Agua de la llave.
- MPs (pueden ser los que se obtuvieron en la Actividad 1).
- Papel secante.
- Lupa o microscopio.



Desarrollo

1. Raspar la parte interna de la boca con un abatelenguas y descartarlo, con ello se eliminarán algunos detritos celulares.
2. Repetir el raspado del paso 1 y realizar un raspado con un segundo abatelenguas, con la finalidad de obtener células de la cavidad bucal.
3. Colocar el raspado bucal sobre el extremo del portaobjetos y arrastrar el abatelenguas en un solo movimiento a lo largo del portaobjetos sanitizado con alcohol (frotis) (realizar la preparación por duplicado).
4. Fijar el frotis pasando el portaobjetos sobre la llama de un mechero o un encendedor.
5. Añadir una gota de colorante cristal violeta y dejar incubar por 5 minutos a temperatura ambiente.
6. Retirar el exceso de colorante dejando caer agua de la llave sobre la preparación.
7. Permitir que seque la preparación a temperatura ambiente.
8. Añadir una gota de MPs sobre el frotis y dejar incubar por 5 minutos a temperatura ambiente.
9. Retirar el exceso de líquido con un papel secante.
10. Cubrir la preparación con el cubreobjetos.
11. Observar al microscopio iniciando en un aumento 4X, e incrementando hasta llegar a 60X.

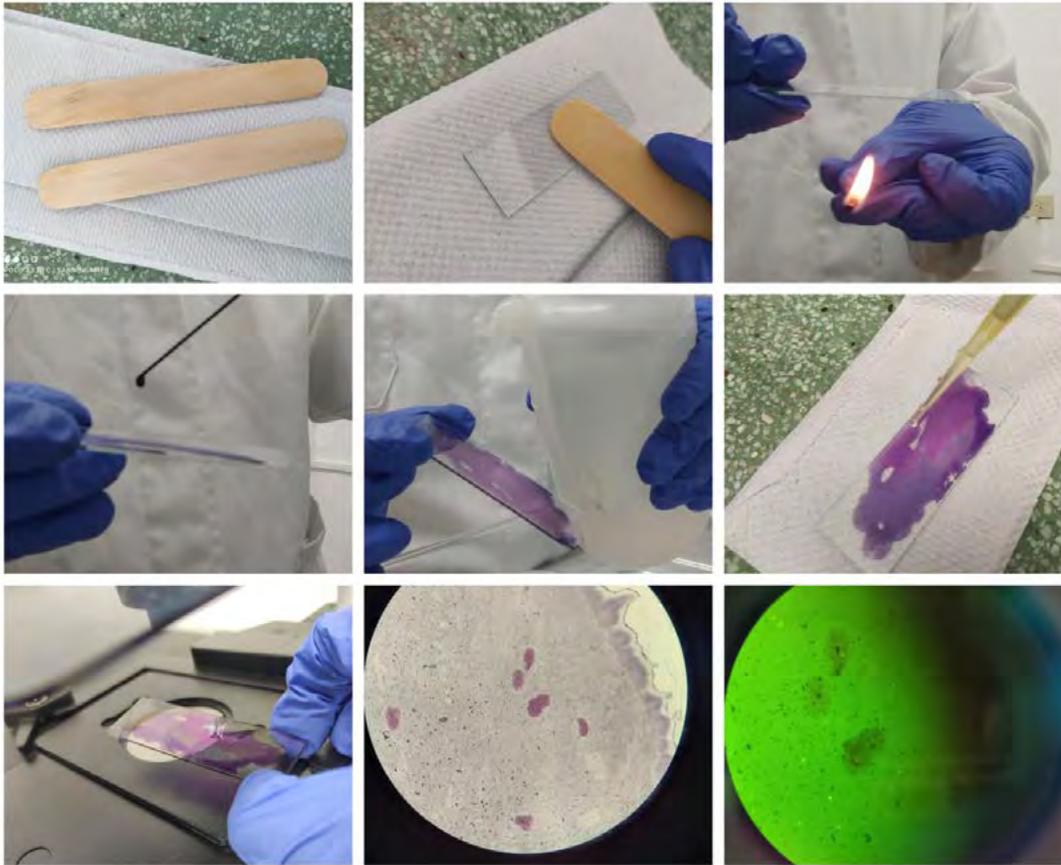


Figura 9. Desarrollo experimental de la Actividad 3 (Fotografías: Espinoza-Castillo, L. E., 2023).

Notas



- Evitar el lavado bucal con pasta dental. Enjuagar la boca con agua bebible.
- Sanitizar el portaobjetos tallando por ambos lados con un papel humedecido con alcohol y dejar secar al aire.
- Pasar rápidamente el portaobjetos a una distancia de 15-20 cm de la fuente de calor.
- Dejar caer agua de la llave por goteo o bien, usando una pipeta. Debe ser agua de la llave, ya que esta contiene metales y contribuye a la fijación del colorante en la preparación.
- Observar bajo una lupa en caso de no contar con microscopio. Si la observación se hace en microscopio, se puede agregar a la preparación una gota de aceite de inmersión y observar a 100x.



Lo que debes saber



Todos los seres vivos están formados por células, algunos por una y otros por billones. Sin embargo, esta afirmación no es tan simple como pudiera parecer, puesto que a lo largo de los años se le ha ido dando un significado distinto. Fue así, que en 1839, Mathias Schleiden y Theodor Schwann presentaron la idea de que todos los seres vivos están conformados por células, dando paso a lo que más tarde se llamaría «teoría celular» (Carrillo et al., 2011).

En 1665, Robert Hooke observó la microestructura del corcho, la cual está constituida por pequeñas celdas en forma de panal, a las cuales denominó células; su observación se muestra en la **Figura 10**.

La alta presencia de MPs en los ecosistemas da como resultado la exposición de los seres vivos ante este microcontaminante, ya sea por medio de la ingestión, inhalación o absorción (Brachner et al. 2020). Una vez en el interior, los MPs son capaces de alterar la alimentación, el crecimiento y el desarrollo embrionario de diversos organismos, mientras que a nivel celular se ha reportado que los MPs son capaces de generar un aumento

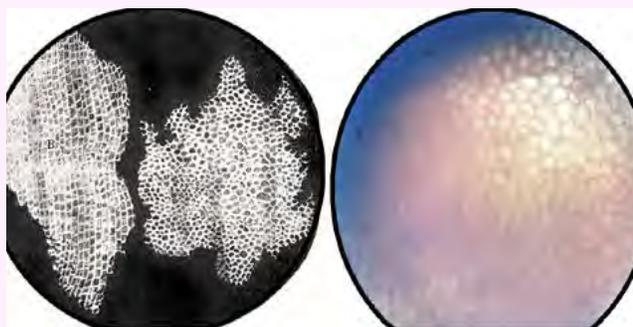


Figura 10. Células de corcho. A la izquierda, la micrografía del corcho que observó Hooke (Fuente: López Sancho & Moreno., 2017). A la derecha, imagen del corcho tomada con un microscopio óptico escolar en aumento 60X (Elaboración: Rodríguez-Fuentes, N., 2023).

en el estrés oxidativo y un daño a nivel del ADN (Lehner et al., 2019; Ferreira et al., 2019).

¿Sabías que así como existen los MPs debido a la degradación gradual de los polímeros, estos pueden llegar a degradarse aún más hasta convertirse en nanoplasticos?

Los nanoplasticos pueden tener tamaños por debajo de una micra, lo cual resulta en algo extremadamente pequeño, pues hablar de un tamaño nanométrico es equivalente a dividir un cabello humano en mil millones de partes.

La **Figura 11** muestra la escala nanométrica en referencia al tamaño de objetos conocidos.

Una herramienta útil para observar partículas pequeñas como los MPs, es el microscopio **confocal**.

Este es un microscopio que emplea una técnica óptica de imagen para incrementar el contraste y/o reconstruir imágenes tridimensionales utilizando una pieza especial llamada **pinhole**; esta pieza elimina la luz desenfocada. Esta técnica ha ido adqui-

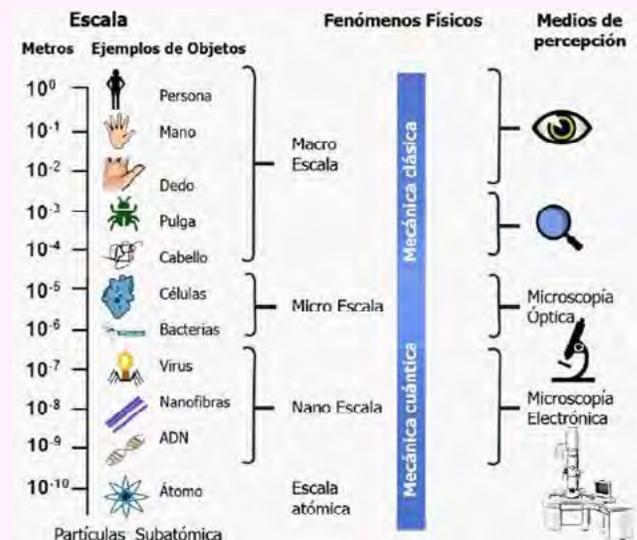


Figura 11. Escala nanométrica (Tomada de Padilla-Vaca, F. et al. 2020).



riendo cada vez mayor popularidad entre las comunidades científica e industrial. Se aplica típicamente en las ciencias biológicas y en la inspección de semiconductores, así como en la observación de MPs. La **Figura 12** muestra un cultivo de células pulmonares alveolares en contacto con MPs fluorescentes.

Si quieres saber más acerca de los nanoplásticos, consulta el siguiente video:

Dr. Carlos JGómez

«Microplástico y nanoplástico-Están en todas partes»

https://m.youtube.com/watch?v=DipvOBINJ8M&ab_channel=Dr.CarlosJG%C3%B3mez

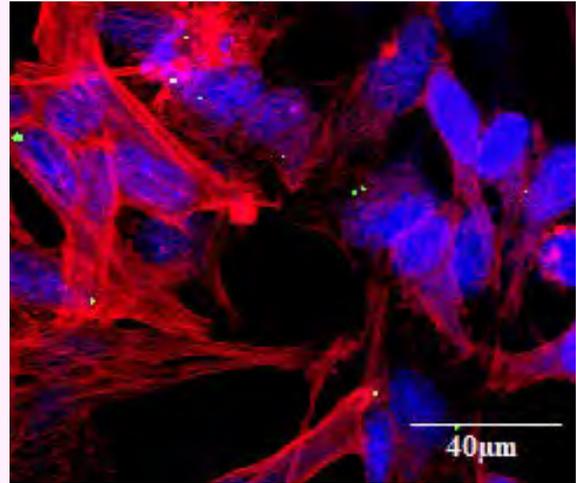


Figura 12. Células pulmonares humanas con MPs de poliestireno de 1 μm (puntos verdes). Núcleo (azul), actina (rojo). (Rodríguez-Fuentes, N., 2023).

Si quieres retar tus conocimientos sobre MPs y su contacto con células, resuelve el siguiente cuestionario.

ACTIVIDAD DE EVALUACIÓN 3



Las células y los MPs

1. ¿Qué medida debe tener un pedazo de plástico para ser considerado como microplástico?
2. Define un nanoplástico.
3. ¿Cuáles son las vías de acceso de los microplásticos al humano?
4. ¿En qué productos de consumo humano conoces que se han encontrado microplásticos?
5. Investiga cuánto mide una célula humana y compara su tamaño con los microplásticos. ¿Cuántos microplásticos le cabrían a una célula?
6. Reflexiona en equipo, ¿qué acciones puedes hacer para disminuir la presencia de microplásticos en tu escuela, en las fiestas y en tu casa?



Para concluir

Como se pudo observar en esta actividad, cuando se agregan MPs a células bucales es posible contrastar el tamaño de estas, que son de las más grandes en los humanos, con el de los MPs. Existen dos tipos de interacciones de los MPs con las células: la interacción intracelular y la extracelular. También se pudo observar su interacción extracelular o superficial.

Solo por su tamaño y por estar «ahí», es posible que las células interactúen con los MPs, como se ha demostrado en diversas investigaciones, las cuales han confirmado que el principal efecto tóxico de estos microcontaminantes se debe a su bioacumulación, es decir, que su mera presencia genera impedimentos espaciales entre las células, lo cual limita la comunicación celular, así como la funcionalidad de los tejidos y órganos donde se bioacumulen.

En contraste, la interacción intracelular con los MPs se ha visto en células vivas que son expuestas a MPs, y los internalizan a través del proceso de **fagocitosis**, de tal manera que se los «comen» y los internalizan, intoxicando a la célula misma y provocando alteraciones que culminan con la muerte de la célula, como se muestra en la **Figura 12**.

Las células están expuestas a los MPs debido a que éstos se han encontrado en productos de consumo humano e ingresan al cuerpo principalmente a través de la ingestión. Aún se desconoce mucho de los efectos que los MPs puedan tener a nivel celular y tisular en el ser humano, pero sus efectos en otros organismos sugieren que debemos tomar acciones para aminorar su presencia y acumulación en los seres humanos y en todos los seres vivos que cohabitamos este planeta.



CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO

Los MPs primarios o secundarios se distribuyen en todos los ecosistemas, se han encontrado en el aire, el suelo y el agua. Como se pudo apreciar en este capítulo, también los generamos a través de acciones cotidianas. Los efectos que puedan tener estos contaminantes en el cuerpo humano aún se están

investigando, pero en otros organismos se ha visto que pueden provocar daños a la salud. Por eso es importante conocerlos y entender que todas y todos somos agentes de cambio y podemos desarrollar nuestras actividades de manera sustentable, aminorando la generación de MPs en el planeta.



SOBRE LAS AUTORAS Y AUTORES

La **M. C. Tania Paulina Gil Cortés** es estudiante de doctorado en el CICY. Es graduada de Ingeniería Biomédica realizando una investigación sobre la biocompatibilidad de materiales para regeneración ósea utilizando cultivo celular. Realizó su maestría en el Cinvestav Mérida en Biología Marina, especializándose en el estudio de la contaminación por microplásticos en el mar Caribe. Actualmente está interesada en el estudio del efecto que tienen los microplásticos en el cuerpo humano y en buscar alternativas para vivir una vida con menos plásticos.

El **Ing. José Luis Quijano Mendoza** actualmente es estudiante de la maestría en Materiales Poliméricos del CICY. Durante la licenciatura enfocó su tesis a la elaboración de materiales dérmicos a partir de gelatina porcina. Actualmente desarrolla estudios con colágena marina y otros polímeros naturales para la obtención de materiales con potencial aplicación en la ingeniería de tejidos. Desde joven se ha interesado en la ciencia, por lo que participó en distintas olimpiadas del conocimiento. «De niño me preguntaba el porqué de las cosas, cómo funcionan y de qué están hechas».

El **Ing. Luis Édgar Espinoza Castillo** es estudiante de la carrera de Nanotecnología en la Universidad Tecnológica de Tulancingo, Hidalgo. Actualmente está realizando una estadía académica en el Laboratorio de Biomateriales de la Unidad de Materiales del CICY, desarrollando un proyecto sobre la elaboración de nanopartículas de colágena marina como posibles liberadoras de fármacos. «De niño siempre quise hacer grandes cosas para ayudar a otros, ahora sé que lo pequeño puede ayudar demasiado».

La **Dra. Ángela F. Ku González** es química industrial por la UADY, M. C. (Energías Reno-

vables) por el CICY y doctora en Ciencias de la Educación por la Universidad Santander. Su formación en el área de la microscopía e histología fue en el Laboratorio Nacional de Microscopía Avanzada (LNMA), en el Centro Militar de Ciencias de la Salud, en el Cinvestav en México y en el ENEA en Roma, Italia. También ha usado el microscopio electrónico de transmisión (TEM) en el Instituto Politécnico Nacional (México). Actualmente es presidenta de la Sociedad Mexicana de Histología.

El **Dr. José Manuel Cervantes Uc** es Profesor-Investigador Titular C en la Unidad de Materiales del CICY. Es químico industrial por la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) y doctor en Ciencias (Química) por la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM-I). Actualmente desarrolla proyectos relacionados con la utilización de biopolímeros en el desarrollo de biomateriales para aplicaciones en la regeneración tisular y la liberación de fármacos, entre otras. «De niño me gustaba hacer piñatas, sin tener idea que durante su elaboración empleaba varios biopolímeros».

La **Dra. Nayeli Rodríguez Fuentes** es Investigadora por México (Conahcyt) adscrita al CICY. Desde joven, su trabajo en la industria farmacéutica y en laboratorios de investigación le permitieron adquirir habilidades para la utilización de biopolímeros para el cuidado de la salud humana. Es química farmacéutica bióloga por la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco (UAM-X) con maestría, doctorado y posdoctorado (UNAM) en temas relacionados con la medicina regenerativa. Los biopolímeros con aplicaciones médicas son su tema favorito, en el cual realiza investigación y desarrollo para generar sustitutos dérmicos y óseos.



GLOSARIO

Célula: es la unidad primordial, funcional y estructural de los sistemas vivos. Es considerada una unidad dinámica, ya que tiene la capacidad de crecer, reproducirse, especializarse, responder a estímulos y adaptarse a distintos cambios ambientales.

Confocal: imagen que está en un solo plano focal.

Contaminante emergente: sustancia química o material que se detecta en el medio ambiente y aunque su presencia puede no ser reciente, la preocupación por un posible riesgo para el medio ambiente y salud humana sí lo es.

Contaminación cruzada: introducción accidental de materiales o sustancias extrañas en una muestra, lo que puede dar lugar a resultados falsos del experimento.

Despolimerización: forma de degradación de los polímeros, durante la cual ocurre la descomposición de la cadena estructural hasta sus bloques constituyentes. Se logra generalmente mediante procesos térmicos o químicos.

Disposición final: es la última etapa en el manejo de residuos sólidos urbanos y comprende al conjunto de operaciones destinadas a lograr el depósito permanente de estos.

Fagocitosis: del griego *phagein*, «comer» y *kytos*, «célula»; es el proceso por el cual una célula engulle una partícula grande ($\geq 0,5 \mu\text{m}$).

Microplástico: aquella partícula sólida, sintética o matriz polimérica con tamaños comprendidos entre $1 \mu\text{m}$ y 5mm .

Pinhole: diafragma localizado delante del fotomultiplicador que evita el paso de luz fluorescente fuera del plano.

Plásticos: materiales sintéticos obtenidos mediante reacciones de polimerización a partir de derivados del petróleo. Tienen la característica de que se pueden moldear fácilmente con calor y presión.

Polímero: molécula de gran tamaño (macromolécula) compuesta por la unión de moléculas más pequeñas denominadas «monómeros».

Radical: molécula o parte de una molécula en donde uno o varios átomos tienen electrones de valencia dispares.

Vibración intramolecular: vibración que afecta a varios átomos al interior de una molécula.



REFERENCIAS

- Asociación Nacional de la Industria Química, A.C. (2020). *Unicel ¿Qué es?* Consultado en <https://unicel-anig.mx/index.html>
- Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Phil. Trans. R. Soc.*, 364(1526), 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
- Bouwmeester, H., Hollman, P. C. H., & Peters, R. J. B. (2015). Potential Health Impact of Environmentally Released Micro and Nanoplastics in the Human Food Production Chain: Experiences from Nanotoxicology. *Environmental Science & Technology*, 49(15), 8932–8947. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01090>
- Brachner, A., Fragouli, D., Duarte, I., Farias, P., Dembski, S., Ghosh, M., Barisic, I., Zdziebło, D., Vanoirbee, J., Schwabl, P., & Neuhaus, W. (2020) Assessment of Human Health Risks Posed by Nano-and Microplastics Is Currently Not Feasible. *Environmental research and public health*, 17(23), 8832. <https://doi.org/10.3390/ijerph17238832>
- Brouwer, H., Van Oijen, F. L. N., & Bouwmeester, H. (2022). Potential human health effects following exposure to nano- and microplastics, lessons learned from nanomaterials. *Present Knowledge in Food Safety: A Risk-Based Approach through the Food Chain* (pp. 590–605). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819470-6.00014-7>
- [Browne, M. A.](#), [Phillip Crump, S. J.](#), [Niven, E. T.](#), [Andrew, T.](#), [Galloway, T.](#), & [Thompson, R.](#) (2011). Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *Environmental Science and Technology*, 45, 9175–9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>
- Carrillo, L., Morales, C., Pezoa, V., & Camacho, J. (2011). La historia de la ciencia en la enseñanza de la célula. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 29, 112–127. <https://doi.org/10.17227/ted.num29-1091>
- Convey, P., Barnes, D., & Morton, A. (2002). Debris accumulation on oceanic island shores of the Scotia Arc, Antarctica. *Polar Biology*, 25, 612–617. <https://doi.org/10.1007/s00300-002-0391-x>
- Ferreira, I., Venâncio, C., Lopes, I., & Oliveira, M. (2019). Nanoplastics and marine organisms: What has been studied? *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 67, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.01.006>
- Frias, J. P. G., & Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
- Free, C. M., Jensen, O., Mason, S., Eriksen, M., Williamson, N., & Boldgiv, B. (2014). High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1), 156–163. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.001>
- Ge-Xia, W., Huang, D., Junhui, J., Völker, C., & Wurm, F. (2021). Seawater-Degradable Polymers-Fighting the Marine Plastic Pollution. *Advanced Science*, 8(1). <https://doi.org/10.1002/advs.202001121>
- Hanvey, J. S., Phoebe, J. L., Lavers, J. L., Crosbie, N. D., Pozo, K., & Clarke, B. O. (2017). A review of analytical techniques for quantifying microplastics in sediments. *Analytical Methods*, 9, 1369–1383. <https://doi.org/10.1039/C6AY02707E>
- Helm, P.A. (2017). Improving microplastics source apportionment: a role for microplastic morphology and taxonomy? *Analytical Methods*, 9, 1328–1331. <https://doi.org/10.1039/C7AY90016C>

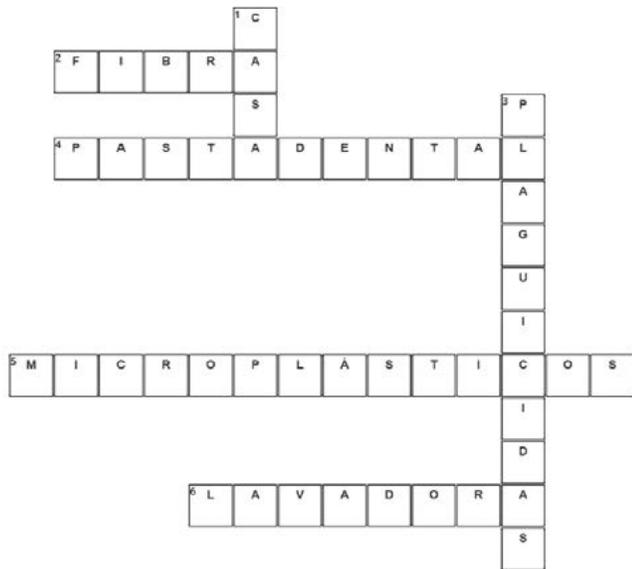


- Hirt, N., & Body-Malapel, M. (2020). Immunotoxicity and intestinal effects of nano- and microplastics: a review of the literature. *Particle and Fibre Toxicology*, 17(1), 57. <https://doi.org/10.1186/s12989-020-00387-7>
- Kumar, A. P., Depan, D., Singh, T. N., & Singh, R.P. (2009). Nanoscale particles for polymer degradation and stabilization—trends and future perspectives. *Progress in Polymer Science*, 34(6), 479–515. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.01.002>
- Lares, M., Mohamed, C. N., Sillanpää, M., & Sillanpää, M. (2018). Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water Research*, 133, 236-246. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.049>
- Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F., Sainte-Rose, B., Aitken, J., Marthouse, R., Hajbane, S., Cunsolo, S., Schwarz, A., Levivier, A., Noble, K., Debeljak, P., Maral, H., Schoeneich-Argent, R., Brambini, R., & Reisser, J. (2018). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*, 8(1), 4666. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>
- Lehner, R., Weder, C., Petri-Fink, A., & Rothen-Rutishauser, B. (2019). Emergence of Nanoplastic in the Environment and Possible Impact on Human Health. *Environmental Science & Technology*, 53(4), 1748–1765. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05512>
- López Sancho, J. M., & Moreno Gómez, E. (2007). *Genética y las leyes de Mendel*. Sala de Biología. Museo Virtual de la Ciencia del CSIC. <https://museovirtual.csic.es/salas/mendel/m5.htm>
- Mendoza-Olea, I. J., Leal-Bautista, R. M., Cejudo, E., Cervantes-Uc, J.M., Rodríguez-Fuentes, N., & Acosta-González, G. (2022). Contaminación por microplásticos en el acuífero kárstico de la península de Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(3). <https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3360>
- Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1–2), 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.025>
- Padilla-Vaca, F., Mendoza-Macías, C. L., Franco, B., Anaya-Velázquez, F., Ponce-Noyola, P., & Flores-Martínez, A. (2020). El mundo micro en el mundo nano: importancia y desarrollo de nanomateriales para el combate de las enfermedades causadas por bacterias, protozoarios y hongos. *Mundo nano*, 11(21), 15-28. <https://doi.org/10.22201/cei-ich.24485691e.2018.21.62591>
- Porte Visa, C. (2022). Impacto de micro- y nano-plásticos en salud ambiental: ¿una amenaza? *Revista de salud ambiental*, 22, 74–143. <https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/1200>
- Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., & Setälä, O. (2017). Solutions to microplastic pollution e Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Research*, 123, 401-407. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.005>
- Vohlídal, J. (2020). Polymer degradation: A short review. *Chemistry Teacher International*, 3(2), 213–220. <https://doi.org/10.1515/cti-2020-0015>
- Wang, J., Zheng, L., & Li, J. (2018). A critical review on the sources and instruments of marine microplastics and prospects on the relevant management. *China. Waste Manag Res.*, 36(10), 898-911. <https://doi.org/10.1177/0734242X18793504>



RESPUESTAS A LAS ACTIVIDADES DE EVALUACIÓN

ACTIVIDAD DE EVALUACIÓN 1 Microplásticos en casa



ACTIVIDAD DE EVALUACIÓN 2 Degradación polimérica

1. ¿Cómo se llama el proceso mediante el cual se obtiene unicel a partir de poliestireno? **R= El proceso por el cual se forma el unicel se llama espumado y consiste en introducir aire en la masa del poliestireno.**
2. ¿En qué consiste la degradación polimérica? **R= Consiste en una serie de procesos físicos y/o químicos que promueven cambios estructurales, los cuales dan como resultado un deterioro significativo en la calidad del material y, por lo tanto, en la pérdida de su funcionalidad.**
3. ¿A qué tipo de degradación contribuye el calor? **R= A la degradación térmica, ya que el calor es un método físico que amplifica las vibraciones intramoleculares y acelera cambios conformacionales en la estructura interna del polímero, haciendo que esta se degrade.**
4. Menciona los factores que contribuyen a la degradación química. **R= Las causas o factores que contribuyen a una degradación del tipo química son: ácidos, bases, sales, gases reactivos, solventes y agua.**
5. Durante la actividad se presentaron distintos mecanismos de degradación para el unicel. ¿Cuál sería un ejemplo de degradación mecánica? **R= La fragmentación del unicel con las tijeras para obtener pedazos más pequeños, ese sería un ejemplo de fragmentación mecánica.**
6. Tal y como se vio en la actividad, el uso de la acetona degrada casi al instante el unicel. ¿Qué clase de degradación estaría ocurriendo? **R= La acetona promueve una degradación química del unicel, ya que este solvente lo disuelve por completo.**



ACTIVIDAD DE EVALUACIÓN 3 Las células y los MPs

1. ¿Qué medida debe tener un pedazo de plástico para ser considerado como microplástico?
R= Un microplástico es aquella partícula sólida cuyo tamaño se encuentra entre 1 μm y 5 mm.
2. Define un nanoplástico. **R= Un nanoplástico es aquella partícula sólida que tienen tamaños menores a una micra.**
3. ¿Cuáles son las vías de acceso de los microplásticos al humano? **R= Las vías de acceso de los MPs a los humanos son por contacto dérmico, por inhalación y por ingestión.**
4. ¿En qué productos de consumo humano conoces que se han encontrado microplástico? **R= Productos de cuidado personal, sistemas de liberación de fármacos, cosméticos, entre otros.**
5. Investiga cuánto mide una célula humana y compara su tamaño con los microplásticos. ¿Cuántos microplásticos le cabrían a una célula?
R= Las células bucales son de las más grandes que tenemos en el cuerpo humano y pueden llegar a medir 20 micras, mientras los eritrocitos pueden medir 7 micras. La célula más grande del humano es el óvulo, puede medir 0.14 milímetros (140 micras); en contraste, la célula más pequeña del cuerpo humano es el espermatozoide, ya que mide 5 micras (sin considerar la cola). Al óvulo le cabrían, 28 MPs de 5 micras.
6. Reflexiona en equipo, ¿qué acciones puedes hacer para disminuir la presencia de microplásticos en tu escuela, en las fiestas y en tu casa?
R= Para disminuir la presencia de MPs en mi escuela puedo sugerir realizar trabajos con materiales biodegradables, por ejemplo, puedo usar papel reciclado de otros trabajos y hacer maquetas con palitos, hojas secas, granos de maíz, frijol, etc. No usar diamantina o brillantina, ya que es una fuente de MPs primarios. En las fiestas se puede usar confeti biodegradable, hecho a base de hojas secas de árbol; en vez de utilizar unicel, se pueden utilizar utensilios biodegradables, o bien, platos que se laven y se puedan volver a usar. En mi casa, puedo usar productos de higiene personal secos, que no usan envases, como los shampoos, pastas dentales y desodorantes que son orgánicos. Disminuir el uso de cosméticos y geles con brillantinas.