

# Aplicaciones biotecnológicas a la degradación de residuos plásticos

Alberto Pires Acosta

**Resumen**—El consumo y la producción de polímeros sintéticos se ha disparado desde el inicio de su producción en masa en la década de 1950, la acumulación de estos en ambientes terrestres y especialmente marinos supone un grave problema medioambiental a nivel global. Una de las principales causas de esto es lo difícil que resultan los plásticos de degradar debido a que requiere un proceso complejo y lento. Existen algunos organismos que poseen algunas propiedades que podrían permitirnos su uso en biorremediación. Dos de estos organismos son *Pseudomonas* sp. AKS2 e *Idonella sakainensis*, la primera capaz de crear biopelículas un microplásticos y la segunda capaz de sintetizar la PET hidrolasa. Aunque la puesta en práctica de técnicas eficaces a partir de estas todavía está lejos, ofrecen una esperanzadora visión para investigaciones futuras.

**Palabras Claves**— Biodegradación, Biorremediación, *Idonella sakainensis*, Plásticos, *Pseudomona*.

## 1. INTRODUCCIÓN

Ha pasado algo más de un siglo desde que Leo Baekeland sintetizará por primera vez en 1907 la baquelita, el primer polímero completamente artificial. Desde entonces, el número de plásticos distintos y su uso no ha hecho más que crecer, debido a su bajo coste de producción y sus características fisicoquímicas mayoritariamente: impermeabilidad, baja densidad, maleabilidad, durabilidad y resistencia a agentes físicos y químicos, incrementando su producción mundial de 1,5 millones de toneladas en 1950 a 348 millones de toneladas en 2017, esta última cifra, equivale a que se produjeron 46kg de plásticos por cada habitante del planeta durante ese año [1].

Sin embargo, precisamente su alta resistencia y durabilidad, así como su uso desenfrenado, han provocado la acumulación de estos como residuos, esencialmente polietileno (PE) y tereftalato de polietileno (PET), en ambientes terrestres y especialmente en marinos, provocando graves consecuencias medioambientales y ecológicas [2].

En este artículo profundizaremos en las causas y consecuencias de este problema y analizaremos varias líneas de investigación que podrían ofrecer nuevos enfoques a la solución de este problema desde la perspectiva de la biotecnología ambiental y de la biorremediación.

## 2. COMPRENDIENDO EL PROBLEMA

Para comprender el problema, es necesario saber qué es exactamente un plástico, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC por sus siglas en inglés) los define los como: "término genérico usado para para el caso de materiales poliméricos que pueden contener otras sustancias para mejorar su rendimiento y/o reducir costes"[3]. Como se puede ver, esta es una definición vaga, en la que cabe lugar tanto polímeros semisintéticos como el celuloide y plásticos completamente sintéticos, como el polietileno. Sin embargo, en nuestro caso nos centraremos en los segundos, que son aquellos más ampliamente utilizados y los que conllevan una mayor dificultad para ser eliminados. Aquí se encuentran algunos de los más utilizados como el policloruro de vinilo (PVC), el tereftalato de polietileno (PET), o el polietileno (PE), tanto de baja (LDPE) como de alta densidad (HDPE); todos ellos termoplásticos [4]. La estructura de los residuos tanto del PET como del PE aparecen representadas en la figura 1.

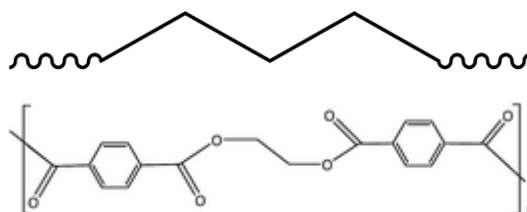


Fig.1 estructura del PE y del PET [5]

### 2.1. Ciclo de Vida de los Plásticos

Una vez desechados, los plásticos pueden persistir en el medio durante cientos e incluso miles de años a diferencia de la gran mayoría de polímeros naturales. La

baja velocidad del proceso se debe en parte, a su complejidad. En general, los residuos de plástico desechados son de un tamaño demasiado elevado como para que pueda actuar ningún proceso biodegradativo en ellos, por tanto, es habitual que haya un paso previo en el que los polímeros se rompen por mecanismos físicos para formar partículas más pequeñas conocidas como microplásticos (>5mm) y nanoplásticos (>100µm) [6]. Aunque la forma en la que esto ocurre es distinta para cada polímero, de forma general, se puede decir que la luz solar al incidir sobre los plásticos es capaz de provocar la ruptura de los enlaces del esqueleto de carbono del plástico formando radicales libres que pueden reaccionar con el O<sub>2</sub> dando lugar a fragmentos menores que contendrá en sus extremos distintos grupos funcionales como grupos ceto, hidroxilo o carboxilo [5],[7].

Aunque es un proceso necesario para el proceso de degradación natural, la formación de microplásticos acarrea por sí mismo otros problemas ecológicos, principalmente la ingestión de estos por accidente por parte de pequeños organismos que pueden incorporarlos en sus tejidos [8]. De esta forma la concentración de microplásticos en tejidos se hace cada vez mayor conforme escalamos en la cadena trófica, por lo cual, algunos animales, como las aves marinas son especialmente sensibles. Además, pueden estar presentes en pescado de consumo habitual humano, cuya ingesta tiene todavía consecuencias desconocidas para la salud [9].

Una vez son lo suficientemente pequeños, los fragmentos son capaces de atravesar las membranas de algunas bacterias que son capaces de incorporarlos al metabolismo central por distintas rutas metabólicas como el ciclo de los ácidos tricarbóxicos o el ciclo del glioxilato tal como se muestra en la figura 2 [5].

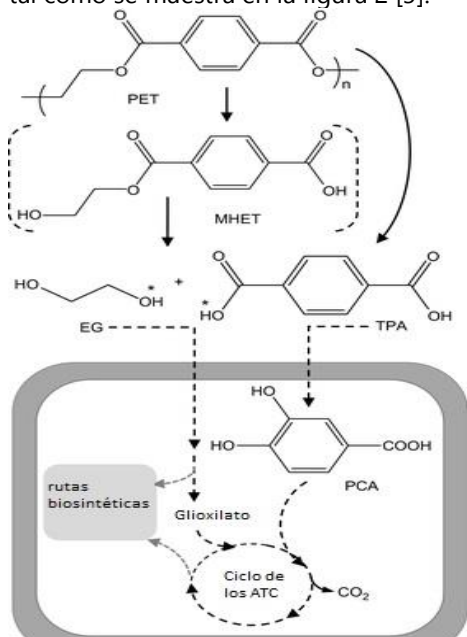


Fig. 2, ruta de degradación natural del PET [5]

Alternativamente, hay bacterias que son capaz de crecer formando biopelículas alrededor del plástico y secretar enzimas sobre éste [7]. Estas bacterias son de especial interés y las trataremos con mayor profundidad a continuación.

### 3. BIOTECNOLOGÍA EN DEGRADACIÓN DE PLÁSTICOS

En la naturaleza existen distintos grupos de bacterias capaces de formar estructuras conocidas como biopelículas. Estas estructuras se forman cuando una bacteria de vida libre se asienta sobre una superficie, secreta una matriz de polisacáridos y forman una colonia sobre ésta [10]. Algunas bacterias son además capaces de formar biopelículas sobre plásticos a la deriva por lo que resultan de gran interés en la degradación de estos compuestos.

#### 3.1. Pseudomonas

Continuando con lo anterior, algunas de las bacterias que tienen una mayor relevancia son aquellas pertenecientes al género *Pseudomonas*, concretamente la cepa *Pseudomonas sp.* AKS2, de la cual ha sido documentada su capacidad para biodegradar polietileno de baja densidad sin que sea necesario un tratamiento previo [7]. La efectividad de esta cepa se debe no a solo a su capacidad de secretar enzimas capaces de degradar el LDPE sino también a su membrana celular especialmente hidrofóbica, que permite que se formen biopelículas sobre el plástico, lo cual puede llegar problemático para otras bacterias puesto que la superficie de la mayoría de los plásticos es muy hidrofóbica.

A pesar de esto, solo se ha conseguido un ritmo máximo de degradación de 1,65 mg de LDPE al día *in vitro* [7] por lo que sigue sin ser lo suficientemente efectivo para el uso de esta cepa en biorremediación. Además, existe otro inconveniente, los microplásticos pueden atravesar grandes distancias en el océano, de forma que, al formarse biopelículas sobre ellos, pueden actuar como vectores de las bacterias que contienen, propiciando procesos como la transferencia horizontal de genes entre ellas con consecuencias ecológicas aún desconocidas [11].

#### 3.2. Idonella sakainensis

Además de las *Pseudomonas*, otra bacteria que también resulta de especial interés es la cepa *Idonella sakainensis* 201-F6, la cual es capaz de producir una enzima con la capacidad de descomponer uno de los plásticos más usados, el PET [4].

La PET hidrolasa es una enzima sintetizada y secretada de forma natural por esta bacteria y permite transformar el PET en monómeros de mono-2-hidroxi-etil tereftalato (MHET) que puede volver a degradar e incorporar a su metabolismo. Sin embargo, esta enzima tiene dos inconvenientes que hacen que sea difícil de purificar y

utilizar. En primer lugar, es muy poco estable y se desnaturaliza con mucha facilidad, especialmente en ambientes oxidantes que pueden provocar la formación de puentes disulfuro que desestabilicen su estructura. A esto hay que añadir también los bajos niveles de expresión y secreción de la enzima de forma natural, lo que impide que se puedan obtener fácilmente grandes cantidades de ésta.

A pesar de esto, y gracias a la ingeniería genética este segundo inconveniente puede ser evitado.

El proceso por el que esto se ha conseguido es mediante la inserción de un pequeño péptido líder en el extremo N-terminal de la proteína mediante una fusión traduccional. Este péptido actúa como una señal que es reconocida por transportadores de *E. coli* y permiten su exportación al espacio extracelular. Posteriormente el fragmento de ADN que contiene el gen junto al péptido es introducido en un vector de traducción como el mostrado en la figura 3 que incluye un promotor T7 el cual sobrexpresará la hidrolasa. Por último, se transforman bacterias *E. coli* competentes introduciéndoles el vector [12].

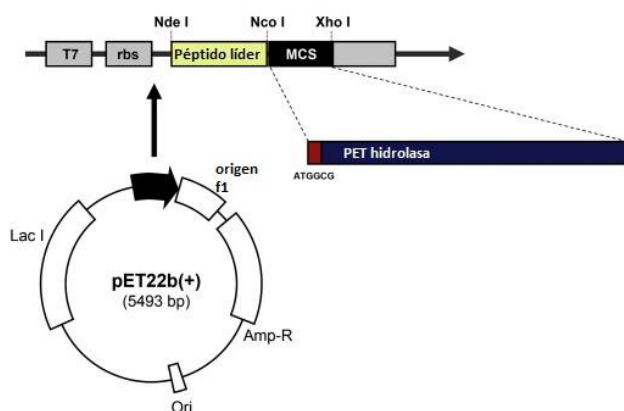


Fig. 3. Esquema del vector de expresión utilizado [12]

De esta forma, las bacterias transgénicas obtenidas expresarán y secretarán la PET hidrolasa con una eficiencia mucho mayor a la *Idonella sakainensis* original. Facilitando en gran medida la purificación, y por tanto la producción en masa de la enzima, posibilitando la utilización de esta directamente sobre residuos de PET.

Sin embargo, la vida media de la enzima sigue siendo baja y las condiciones de temperatura y pH óptimos para su funcionamiento (alrededor de 30°C y un pH entre 8 y 9) no se suelen dar en los ambientes oceánicos en los que se acumula este residuo, lo que hace que su uso siga siendo ineficiente y caro por la enorme cantidad de enzima que se necesitaría para aplicarse a un problema medioambiental real [12].

## 4. CONCLUSIÓN

La acumulación de residuos de plástico en mares y océanos es un problema cuya gravedad se incrementa conforme los años pasan y la producción estos aumenta.

Las líneas de investigación que hemos resumido aquí además de otras muchas ofrecen resultados esperanzadores para poner término a este hecho. Sin embargo, es necesario tener en cuenta todas estas vías se encuentran todavía en un estado muy inmaduro y serán necesario años e incluso décadas para obtener herramientas verdaderamente eficientes y eficaces. Además, es necesario comprender que lo expuesto es solamente una parte de la solución. No solo es necesario degradar los residuos ya existentes, también es necesario reducir la cantidad de estos que se producen, ya sea mediante el reciclaje o mediante la sustitución de plásticos por otros materiales menos contaminantes como biopolímeros. Solo de esta forma, conseguiremos lograremos un océano libre de plásticos

## 5. REFERENCIAS

- [1] M. Eriksen *et al.*, "Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea," *PLoS One*, vol. 9, no. 12, p. e111913, Dec. 2014.
- [2] K. L. Law, "Plastics in the Marine Environment," *Ann. Rev. Mar. Sci.*, vol. 9, no. 1, pp. 205–229, Jan. 2017.
- [3] M. Vert *et al.*, "Terminology for biorelated polymers and applications (IUPAC Recommendations 2012)\*," *Pure Appl. Chem.*, vol. 84, no. 2, pp. 377–410, 2012.
- [4] R. Geyer, J. R. Jambeck, and K. L. Law, "Production, use, and fate of all plastics ever made.," *Sci. Adv.*, vol. 3, no. 7, p. e1700782, 2017.
- [5] B. Gewert, M. M. Plassmann, and M. Macleod, "Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment," *Environmental Sciences: Processes and Impacts*, vol. 17, no. 9, pp. 1513–1521, Sep-2015.
- [6] N. O. and A. A. US Department of Commerce, "What are microplastics?"
- [7] R. A. Wilkes and L. Aristilde, "Degradation and metabolism of synthetic plastics and associated products by *Pseudomonas* sp.: capabilities and challenges," *Journal of Applied Microbiology*, vol. 123, no. 3, pp. 582–593, Sep-2017.
- [8] Y. Chae and Y.-J. An, "Effects of micro- and nanoplastics on aquatic ecosystems: Current research trends and perspectives," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 124, no. 2, pp. 624–632, Nov. 2017.
- [9] S. L. Wright and F. J. Kelly, "Plastic and Human Health: A Micro Issue?," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 51, no. 12, pp. 6634–6647, Jun. 2017.
- [10] T. Tolker-Nielsen, "Biofilm Development," *Microbiol. Spectr.*, vol. 3, no. 2, Apr. 2015.
- [11] M. Shen *et al.*, "Micro(nano)plastics: Unignorable vectors for organisms," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 139, pp. 328–331, Feb. 2019.

- [12] H. Seo, S. Kim, H. F. Son, H.-Y. Sagong, S. Joo, and K.-J. Kim, "Production of extracellular PETase from *Ideonella sakaiensis* using sec-dependent signal peptides in *E. coli*," *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, vol. 508, no. 1, pp. 250–255, Jan. 2019.



**Alberto Pires Acosta** (1999) natural de Huelva, estudiante de 2º de Biotecnología en la Universidad Pablo de Olavide