

Impresión molecular como alternativa al tratamiento de la contaminación ambiental

Molecular imprinting as an alternative to the treatment of environmental contamination

Juan F. Flores-Aguilar^{*a}, Isaí Vázquez-Garrido^b, Israel S. Ibarra-Ortega^c, Gabriela Islas-Guerrero^d

Abstract:

Molecular imprinting is based on the synthetic creation of a highly crosslinked polymeric material around a given template molecule and can be described as a specific binding between a specific molecule and the molecular receptor. Molecularly imprinted materials are essential tools in numerous current applications, in which the high selectivity and specificity characteristic of molecular recognition are used. One of the applications of greatest interest is in the treatment of environmental pollution, caused by the presence of numerous chemical species such as drugs and their metabolites, industrial additives, heavy metals, pesticides, etc. This paper shows examples where molecularly imprinted materials have been used in various environmental samples, proving to be a potential alternative in the selective treatment of contamination.

Keywords:

Molecular imprinting, molecular recognition, environmental pollution, contamination.

Resumen:

La impresión molecular se fundamenta en la creación sintética de un material polimérico altamente entrecruzado alrededor de una determinada molécula molde y puede describirse como una unión específica entre una molécula determinada y el denominado receptor molecular. Los materiales molecularmente impresos son herramientas indispensables en numerosas aplicaciones actuales, en las cuales la elevada selectividad y especificidad características del reconocimiento molecular son aprovechadas. Una de las aplicaciones de mayor interés es en el tratamiento de la contaminación medioambiental, causada por la presencia de numerosas especies químicas como son: fármacos y sus metabolitos, aditivos industriales, metales pesados, pesticidas, etc. En el presente artículo se muestran ejemplos donde los materiales molecularmente impresos han sido utilizados en diversas muestras ambientales demostrando ser una potencial alternativa en el tratamiento selectivo de la contaminación.

Palabras Clave:

Impresión molecular, reconocimiento molecular, contaminación, medioambiente.

Introducción

En las últimas décadas la contaminación ambiental ha representado uno de los problemas más graves y críticos a nivel mundial. Se denomina contaminación ambiental a la presencia de agentes físicos, químicos o biológicos que puedan afectar negativamente a la salud en sistemas medioambientales como suelo, cuerpos de agua y/o aire y se debe a determinadas alteraciones causadas por

diferentes actividades antropogénicas. Dentro de los contaminantes podemos encontrar a los denominados contaminantes clásicos como los pesticidas y metales pesados y a los denominados contaminantes emergentes como son los fármacos y los aditivos alimentarios. 1,2

Por otro lado, dependiendo del tipo de contaminante y tiempo de exposición se pueden generar diversas alteraciones en la salud de seres humanos y animales

^a Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-4515-8093>, Email: juan_flores@uaeh.edu.mx

^b Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0003-0175-0260>, Email: isai_vazquez@uaeh.edu.mx

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0001-8449-9774>, Email: israel_ibarra@uaeh.edu.mx

^d Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, <https://orcid.org/0000-0002-2118-2179>, Email: gislas@upfim.edu.mx

como: alteraciones metabólicas, alergias, enfermedades respiratorias, malestares estomacales, posible desarrollo de cáncer e incluso la muerte. 3

Por lo anterior se han desarrollado diversas metodologías con la finalidad de tratar la contaminación de manera efectiva, dentro de las cuales podemos destacar a la impresión molecular. La tecnología de impresión molecular se fundamenta en la creación de polímeros estables con propiedades de reconocimiento molecular. Dicho reconocimiento se basa en la generación de cavidades complementarias en forma y tamaño a una molécula molde en una matriz polimérica denominados como sitios activos. 4

En el presente trabajo se realiza una reseña de los materiales de impresión molecular, así como de la aplicación de dichos materiales en el tratamiento efectivo de la contaminación en muestras reales.

Materiales empleados en impresión molecular

Una correcta impresión molecular inicia con la adecuada selección de los reactivos a utilizar, ya que de la misma depende un reconocimiento molecular efectivo, por tanto, la correcta impresión depende de la molécula plantilla, el tipo de solvente, monómero funcional y agente entrecruzante. 5

Plantilla: La denominada molécula plantilla o molécula molde es el compuesto químico de interés en el estudio (analito), por tanto, es considerada como el punto central de la impresión molecular determinando el tipo de interacción y el resto de materiales necesarios en la impresión. 6

Solvente: El disolvente es el medio de reacción para todos los reactivos involucrados en la síntesis de un material impreso, además es responsable de estabilizar la formación del denominado complejo de pre-polimerización (monómero funcional-plantilla); finalmente, el tipo de solvente también puede afectar a la formación de poros y el área superficial del material impreso. 5

Monómero funcional: Responsable del tipo de interacción entre la molécula plantilla y el receptor molecular, las principales interacciones entre la molécula plantilla y el monómero funcional son: interacciones covalentes, electrostáticas y puentes de hidrógeno, sin embargo, en un reconocimiento molecular efectivo las interacciones deben ser fuertes para el reconocimiento selectivo, pero suficientemente débiles para poder recuperar a la molécula molde. 6

Agente entrecruzante: El entrecruzante es responsable de generar estabilidad mecánica y física en las cadenas poliméricas, además de estabilizar y dar forma a los sitios activos y/o de reconocimiento. 6

Síntesis y obtención de polímeros impresos

La forma de sintetizar a los polímeros impresos tiene algunas modificaciones dependiendo del tipo y características del analito de interés, el solvente utilizado, el agente entrecruzante y el monómero funcional. En una representación general (Figura 1) se pueden observar diferentes etapas en el proceso de síntesis. Primeramente, la molécula plantilla es disuelta en un disolvente apropiado, en presencia del monómero funcional a utilizar, generando el complejo de pre-polimerización; en una segunda etapa, se inicia la polimerización y finalmente, en la última etapa con ayuda de métodos fisicoquímicos se retira la plantilla del polímero, logrando dejar los sitios activos listos para el reconocimiento selectivo del analito de interés y/o compuestos estructuralmente análogos. 4,7

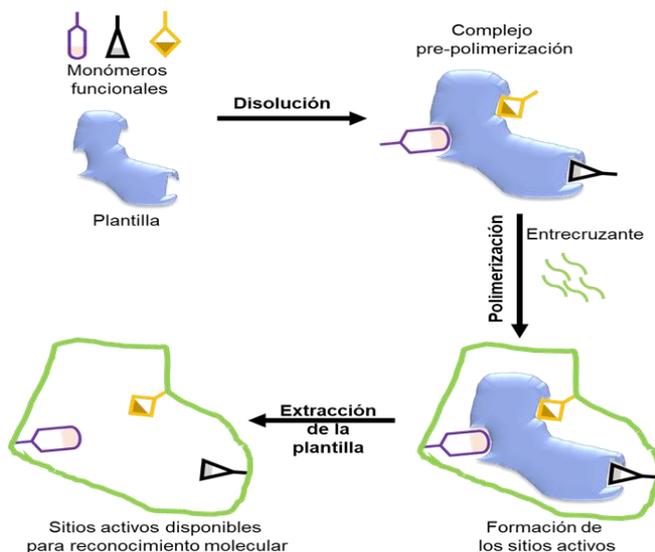


Figura 1. Representación esquemática de la impresión molecular.

Aplicación de los polímeros molecularmente impresos en el tratamiento de la contaminación

Los materiales molecularmente impresos suponen una herramienta importante en el análisis químico, farmacológico y ambiental dado la versatilidad, resistencia física, mecánica y la estabilidad química que presentan. Actualmente se han desarrollado diferentes materiales impresos para la recuperación, remoción y cuantificación de diferentes contaminantes tales como: fármacos, metales pesados, pesticidas y aditivos alimentarios, entre otros. 8

Metales pesados: Vicelis et al. en el 2015 estudiaron la remoción de Hg(II) utilizando un material impreso a base de quitosano en soluciones sintéticas a 5 mg/L del ion obteniendo porcentajes de remoción del contaminante superiores al 99%. Por otro lado, otras investigaciones reportan materiales impresos utilizando principalmente monómeros funcionales nitrogenados para la remoción de Cu(II), Ni(II), Pb(II), Eu(II), Zn(II), Cd(II), Fe(III), Au(III), Cr(III), etc. aplicados en muestras de agua sintética y residual obteniendo porcentajes de remoción superiores al 90%. 7,8, 10

Pesticidas: El análisis de pesticidas en muestras de alimentos, agua y suelo siempre ha sido importante debido al potencial tóxico, carcinogénico y teratogénico que presentan dichos compuestos. La bibliografía reporta principalmente la aplicación de materiales molecularmente impresos para la determinación de pesticidas organofosforados tales como: dimetoato, malatión, entre otros. La bibliografía reporta al ácido metacrílico como monómero funcional principal en el diseño de materiales impresos para el análisis de pesticidas, logrando recuperar de manera selectiva hasta el 93% del pesticida en muestras con una concentración de 1 mg/L. 9, 11

Fármacos: En las últimas décadas la contaminación por fármacos y derivados ha recibido una mayor atención por parte de los investigadores, observando un incremento importante en la concentración y presencia de fármacos en cuerpos de agua, lo anterior debido principalmente al uso inadecuado y excesivo de algunos medicamentos. Los materiales impresos se han empleado exitosamente en la remoción selectiva de antibióticos (amoxicilina, azitromicina, ciprofloxacino, metronidazol, entre otros) antiinflamatorios (naproxeno, diclofenaco, ibuprofeno, ácido acetilsalicílico, entre otros), antidepresivos (escitalopram, fluoxetina, paroxetina, entre otros), β bloqueadores y reguladores hormonales. En muestras de agua contaminada los materiales impresos han denotando capacidades máximas de absorción de hasta 450 mg del fármaco contaminante por gramo de material impreso, y porcentajes de remoción de hasta 99% con 60 minutos de contacto entre el material y el agua contaminada. 12,13

Conclusiones

La elevada selectividad, sensibilidad y afinidad características de los materiales molecularmente impresos han permitido evidenciar la alta eficiencia en la remoción, recuperación y determinación de numerosas especies químicas incluso en bajas concentraciones (mg/L) demostrando la potencial aplicación de la impresión molecular en el tratamiento de la

contaminación ambiental de una forma selectiva, sencilla y eficiente.

Referencias

- [1] Palacios-Anzules, IDC., Moreno-Castro, DW. Contaminación ambiental. *Recimundo* 2022; 6(2): 93-103.
- [2] Gil MJ., Soto AM., Usma JL., Gutiérrez OD. Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción+ limpia* 2012; 7(2): 52-73.
- [3] Vargas MF. La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Rev. Esp. Salud Pública* 2005; 79: 117-127.
- [4] Oliveira FM., Segatelli MG., Tarley CRT. (2015). Preparation of a new restricted access molecularly imprinted hybrid adsorbent for the extraction of folic acid from milk powder samples. *Anal. Methods* 2015; 8: 656-665.
- [5] Fernández-González A., Guardia L. Reconocimiento molecular mediante materiales biomiméticos: impresión molecular. *An. R. Soc. Esp. Quím* 2007; 103(2): 14-14.
- [6] Cela-Pérez MC., Lasagabáster-Latorre A., Abad-López MJ., López-Vilariño JM., González-Rodríguez MV. A study of competitive molecular interaction effects on imprinting of molecularly imprinted polymers. *Vib. Spectrosc.* 2013; 65: 74-83.
- [7] Monier M., Abdel-Latif DA. Fabrication of Au(III) ion-imprinted polymer based on thiol-modified chitosan. *Int. J. Biol. Macromol.* 2017; 105: 777-787.
- [8] Vicelis, JLH., Castro SPM. Síntesis de esferas de quitosano y quitosano-TiO₂ impresas molecularmente para la adsorción del Hg(II) y degradación fotocatalítica del rojo de metilo para el tratamiento de aguas residuales. *Rev. Iberoam. de Polím.* 2015; 16(1): 69-90.
- [9] Soledad-Rodríguez BE. Análisis de contaminantes ambientales con polímeros de impronta molecular. *Rev. Int. de Contam.* 2020; 36(1): 197-207.
- [10] Sharma G., Kandasubramanian B. Molecularly imprinted polymers for selective recognition and extraction of heavy metal ions and toxic dyes. *J. Chem. Eng. Data* 2020; 65(2): 396-418.
- [11] Boulanouar S., Mezzache S., Combès A., Pichon V. Molecularly imprinted polymers for the determination of organophosphorus pesticides in complex samples. *Talanta* 2018; 176: 465-478.
- [12] Cantarella M., Carroccio SC., Dattilo S., Avolio R., Castaldo R., Puglisi C., Privitera V. Molecularly imprinted polymer for selective adsorption of diclofenac from contaminated water. *Chem. Eng. J.* 2019; 367: 180-188.
- [13] Zare EN., Fallah Z., Le VT., Doan VD., Mudhoo A., Joo SW., Vasseghian Y., Tajbakhsh M., Moradi O., Sillanpää M., Varma RS. Remediation of pharmaceuticals from contaminated water by molecularly imprinted polymers: a review. *Environ. Chem. Lett.* 2022; 20(4): 2629-2664.