



CICY

¿Imposible eliminar los colorantes del agua proveniente de la industria? Los nanotubos de carbono, una potencial solución



Figura 1. Descarga de aguas residuales contaminadas con colorantes a un río[5]



MAURICIO HUHÑ IBARRA, ÁNGEL DE JESÚS MONTES LUNA, MARÍA ISABEL LORÍA BASTARRACHEA, MARÍA O. GONZÁLEZ DÍAZ, JESÚS ORTIZ ESPINOZA, MANUEL AGUILAR VEGA *

28/02/2023 10:46

El agua es un recurso crítico y muy importante para la supervivencia de la humanidad y para la producción agrícola e industrial. Por ello es que el tratamiento de aguas residuales se ha convertido en todo un desafío, particularmente, de las provenientes de la industria textil, que genera corrientes contaminadas por colorantes comerciales, que en su mayoría son estructuras químicas aromáticas complejas, recalcitrantes y resistentes a la degradación, incluso cuando se exponen a procesos de tratamiento convencionales y avanzados. [1,2] De hecho, uno de los principales contaminantes de los recursos hídricos son los colorantes, sustancias ampliamente utilizadas en las industrias textil, farmacéutica, alimentaria, cosmética y papelera. [3] En la actualidad, existen más de 100,000 tintes disponibles comercialmente, con una producción anual de 700,000 toneladas se estima que más del 15% de todos los tintes producidos se liberan al medio ambiente durante su proceso de síntesis o teñido. Además, el problema se vuelve más complejo debido a que en la mayoría de los procesos con colorantes se necesitan sales para su fijación, por lo que grandes cantidades de compuestos como cloruro de sodio (NaCl), o sulfato de sodio (Na₂SO₄) son también liberados en los efluentes de agua. Debido a esto, el desarrollo de métodos eficientes para el tratamiento de aguas residuales de las industrias que emplean colorantes ha recibido mucha atención y es considerado como una prioridad para la protección del medio ambiente y la salud pública. [4]

Las membranas han sido una opción para combatir este tipo de problema, pues son estructuras finas que permiten o bloquean la entrada o salida de una sustancia. Pero para el caso particular del tratamiento de aguas provenientes de la industria textil, uno de los métodos más eficientes y simples para eliminar los colorantes y las sales del agua son

[Read Next Story >](#)

las membranas de nanofiltración

capa (ver figura 2). Este tipo de membranas, aunque han probado tener cierta efectividad para la eliminación de tintes y sales, todavía presentan varios problemas, incluida la relación de flujo de agua y separación de tintes y sales; y su tendencia a fallas por depósito de los contaminantes en las paredes de las membranas, conocida como “ensuciamiento”. [6] Una forma de evitar el ensuciamiento y rechazar los colorantes y sales de las membranas de doble capa para tratamiento de agua es agregando partículas nanométricas en su capa externa, convirtiéndolas en membranas de matriz mixta (MMM). [7] Uno de los materiales nanométricos más prometedores para formar MMM son los nanotubos de carbono (NTC), [6] que son láminas de grafeno (material de carbono puro de forma hexagonal) enrolladas que pueden tener una capa (NTCPS) o varias capas (NTCPM) los cuales presentan un diámetro de entre 10 y 50 nanómetros, cercano al grueso de un cabello humano; y longitud variada de entre 5 y 20 micras (para referencia, un glóbulo rojo mide 7 micras).

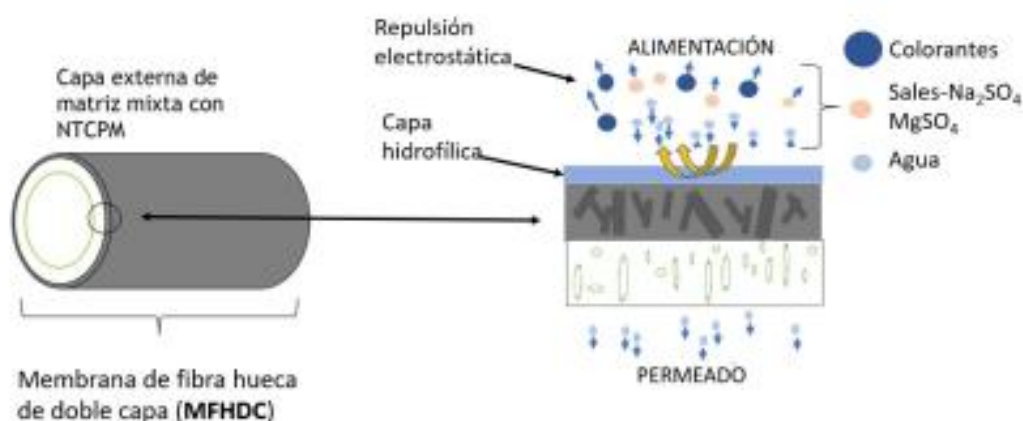


Figura 2. Representación de rechazo de colorant doble capa.

Una ventaja de los nanotubos de carbón (NTC) es que se pueden modificar para agregar diferentes grupos químicos, lo que significa que es posible transformar su pared y cambiar sus propiedades de absorción y rechazo de sales en su superficie. Esta modificación es clave para aumentar su afinidad al agua (hidrofilicidad) y mejorar las propiedades de rechazo de sales y materiales que se depositan en la superficie de las membranas. Los NTC en las membranas de doble capa (MFHDC) no han sido investigadas en tratamiento de agua con colorantes, a pesar de que estas membranas poseen una de las geometrías más prometedoras, pues se desperdicia menos cantidad de nanotubos de carbono de capa múltiple (NTCPM) ya que estos solo se requieren en la capa externa, que es donde realmente ejercen su efecto.

Tomando en cuenta la importancia de la remoción de colorantes y sales de las corrientes de agua, el Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C. (CICY) ha estado desarrollando nuevas membranas de doble capa de nanofiltración para el tratamiento de aguas con colorantes y sales, mismas que poseen propiedades mejoradas de eliminación de depósitos en la superficie y, simultáneamente, eliminación de sales y colorantes a partir de membranas fabricadas de plásticos de alto rendimiento, modificadas con nanopartículas de nanotubos de carbono funcionalizadas. En este sentido, se han probado dos tipos de nanotubos modificados superficialmente: NTCPM de carga negativa implantados en la superficie, llamados NTCPM-o; y NTCPM con pequeñas cargas positivas.

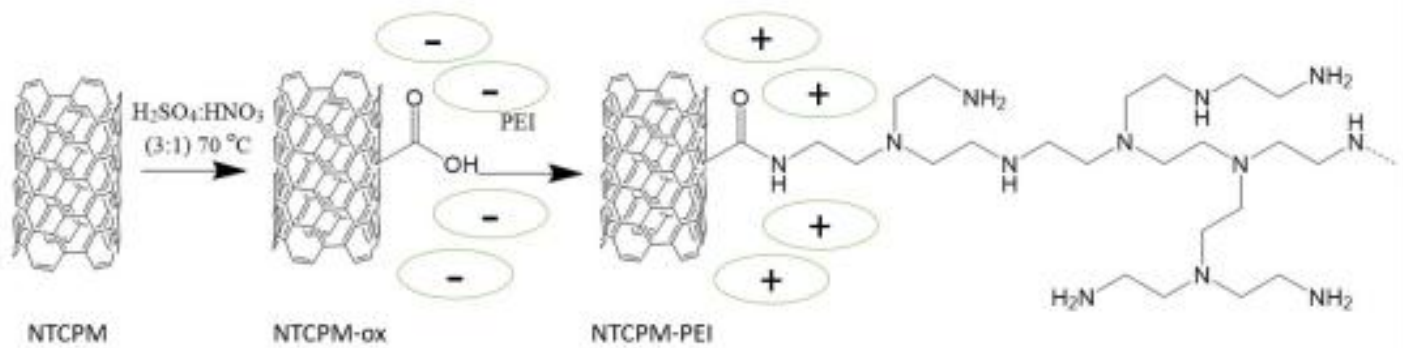


Figura 3. Esquema de modificación de nanotubos de carbono.

Gracias a las técnicas de caracterización de potencial zeta (medida de la magnitud de la repulsión o atracción electrostática, o de carga, entre las partículas) se logró comprobar que los nanotubos de carbono modificados utilizados en las membranas de doble capa (MFHDC) tenían carga negativa en la superficie, de los cuales el NTCPM-ox fue el más negativo. La adición de estos nanotubos en la capa externa de la membrana en estudio logró mejorar el rechazo de sales (Na_2SO_4), sulfato de magnesio (MgSO_4) y colorante azul de metileno (AM) como se muestra en la figura 4.

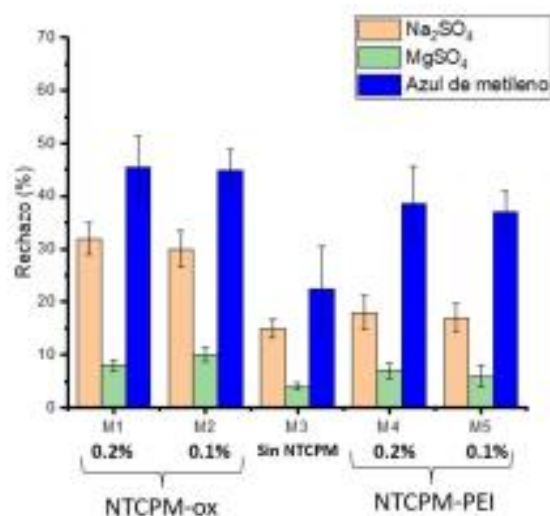


Figura 4. Capacidad de rechazo de sales y colorante en membranas con diferentes tipos de nanotubos.

Figura 4. Capacidad de rechazo de sales y colorante en membranas con diferentes tipos de nanotubos

La afinidad por el agua y rechazo mejorado de sales y partículas depositadas sobre la membrana fueron el factor clave para un mejor rendimiento de las MFHDC con nanotubos modificados. El mayor rechazo de sales y colorante azul de metileno, se encontró en aquellas membranas con grupos carboxílicos de mayor carga negativa (NTCPM-ox), seguido de las que tenían cargas positivas (NTCPM-PEI) en comparación con las membranas que no tienen nanotubos. Se logró un aumento hasta 2 veces del rechazo de sales y azul de metileno, respectivamente, en las membranas de fibra hueca de doble capa (MFHDC) con 0.2 % de modificación con nanotubos con carga negativa (NTCPM-ox) en comparación con la membrana sin nanotubos. Estas mismas membranas lograron reducir el depósito de partículas sobre la superficie de la membrana en un el 25 % en pruebas con una proteína,

[Read Next Story >](#)

albumina de suero bovino, en comparación con las MFHDC que no tienen nanotubos modificados.

Gracias a las imágenes por microscopio electrónico de barrido (MEB) en la Figura 5, fue posible observar que se forman fibras huecas de doble capa homogéneas con geometría perfectamente circular con una buena resistencia a la presión, lo que es importante para tratamientos a largo plazo.

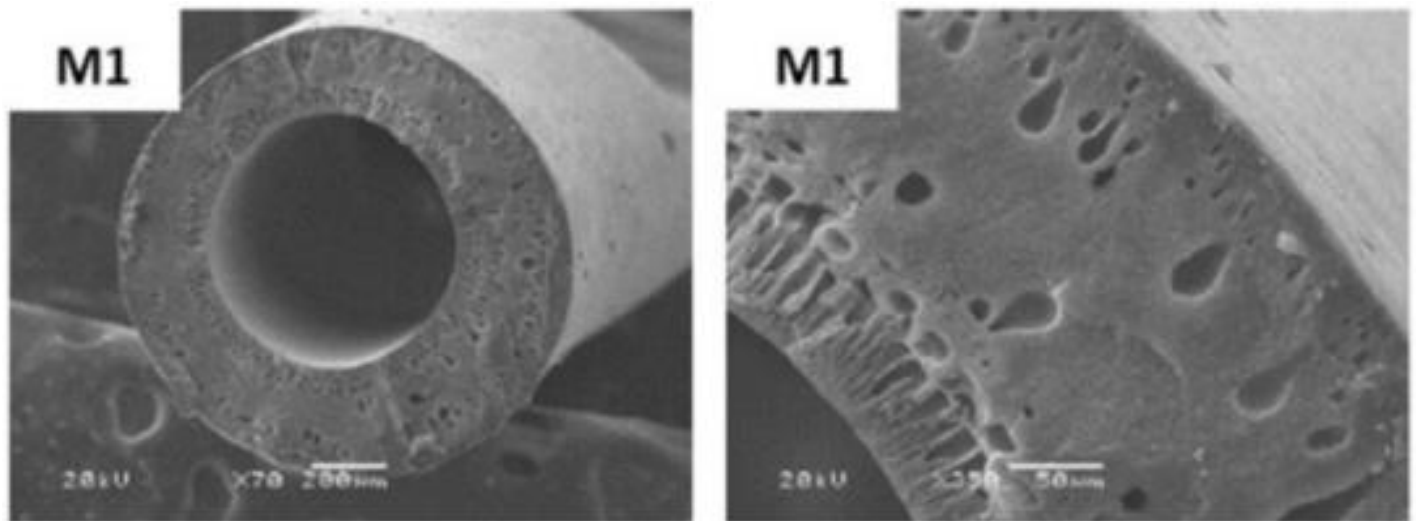


Figura 5. Imagen por microscopio electrónico de barrido de membrana de fibra hueca de doble capa.

Figura 5. Imagen por microscopio electrónico de barrido de membrana de fibra hueca de doble capa

En general, la adición de nanotubos de carbón modificados en la capa externa de las membranas, mejora el rechazo de sales y colorantes. También, gracias al conocimiento adquirido para hacer membranas de geometría de fibra hueca de doble capa, se prevé para un futuro, aprovechar dicha configuración geométrica para el desarrollo de membranas para otro tipo de aplicaciones como separación de gases de efecto invernadero o generación de energía limpia.

Semblanzas

[Read Next Story >](#)

Mauricio José Huhn Ibarra nació en Monterrey Nuevo León en 1979, estudio ingeniería química en el Instituto Tecnológico de Mexicali, es estudiante de 8vo semestre de doctorado en ciencias en Materiales poliméricos del CICY y se ha enfocado en estudios de membranas para tratamiento de agua desde la maestría.

Ángel de Jesús Montes Luna es Investigador asociado en la Unidad de Materiales del CICY, con experiencia en tecnología de polímeros, preparación de nanocompuestos y en desarrollo de membranas aplicadas a la eliminación de contaminantes de agua y de corrientes del gas natural.

María Ortencia González Díaz es investigadora por México del Conacyt adscrita a la Unidad de Materiales del CICY

María I. Loría Bastarrachea nació en Mérida Yucatán en 1972, estudio químico industrial en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán y estudio la maestría en Materiales poliméricos del CICY. Se ha enfocado en la síntesis y caracterización de materiales poliméricos, en particular de membranas para la separación de gases y tratamiento de agua

Jesús Ortiz Espinoza Posdoctorante en la unidad de materiales del CICY. Investigador experimental en Ciencia de Materiales poliméricos, competente en la modificación y evaluación de propiedades fisicoquímicas de polímeros mediante diferentes técnicas de caracterización.

Manuel Aguilar Vega es Investigador en la unidad de materiales del CICY, con experiencia en materiales plásticos y procesos de membranas de interés en la eliminación de contaminantes en gases, agua y proyectos de interés ambiental y sobre energías limpias.

Patrocinado



- (1) Gong, G.; Wang, P.; Zhou, Z.; Fan, Y. Interlayer for the Fabrication of Highly Selective and Permeable Thin-Film Composite Nanofiltration Membrane. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2019, 11 (7), 7349–7356. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b18719>.
- (2) dos Santos, A. B.; Cervantes, F. J.; van Lier, J. B. Review Paper on Current Technologies for Decolourisation of Textile Wastewaters: Perspectives for Anaerobic Biotechnology. *Bioresour. Technol.* 2007, 98 (12), 2369–2385. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.11.013>.
- (3) Mallakpour, S.; Rashidimoghadam, S. Carbon Nanotubes for Dyes Removal. *Compos. Nanoadsorbents* 2019, 211–243. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814132-8.00010-1>.
- (4) Rauf, M. A.; Salman Ashraf, S. Survey of Recent Trends in Biochemically Assisted Degradation of Dyes. *Chem. Eng. J.* 2012, 209, 520–530. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.08.015>.
- (5) Synovance. Synovance Biotechnology. <https://synovance.com/textile-dyes/our-mission/>.
- (6) Vatanpour, V.; Safarpour, M.; Khataee, A. Mixed Matrix Membranes for Nanofiltration Application. *Nanostructured Polym. Membr.* 2016, 2, 441–476. <https://doi.org/10.1002/9781118831823.ch12>.
- (7) Siddique, T.; Dutta, N. K.; Choudhury, N. R. Mixed-Matrix Membrane Fabrication for Water Treatment. *Membranes (Basel)*. 2021, 11 (8), 557. <https://doi.org/10.3390/membranes11080557>.
- (8) Song, J.; Wang, Y.; Qiu, J. High Adsorption Performance of Blue
from Aqueous Solution Using Hyperbranched Polyethyleneimine Grafted
Carbon Nanotubes

conquistar

Indeedfinance | Patrocinado

[Read Next Story >](#)

MWCNTs as an Adsorbent. *ES Mater*

<https://doi.org/10.30919/esmm5f193>.

(9) Wang, L.; Song, X.; Wang, T.; Wang, S.; Wang, Z.; Gao, C. Fabrication and Characterization of Polyethersulfone/Carbon Nanotubes (PES/CNTs) Based Mixed Matrix Membranes (MMMs) for Nanofiltration Application. *Appl. Surf. Sci.* 2015, 330, 118–125.

<https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2014.12.183>.

(10) Yin, J.; Zhu, G.; Deng, B. Multi-Walled Carbon Nanotubes (MWNTs)/Polysulfone (PSU) Mixed Matrix Hollow Fiber Membranes for Enhanced Water Treatment. *J. Memb. Sci.* 2013, 437, 237–248.

<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2013.03.021>.

* Laboratorio de Membranas, Unidad de Materiales, Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C., Calle 43 #130 entre 32 y 34, Chuburná de Hidalgo, Mérida Yuc. México.

Tags • [academia](#) • [nanotubos de carbono](#)
