

Este trabajo describe el desarrollo de un prototipo de manta oleofílica e hidrofóbica con alta capacidad absorbente que pueda ser utilizada en la recuperación y la remoción de hidrocarburos en derrames acuosos.

Mantas oleofílicas hidrofóbicas

Por **Federico Trupp**, **Nicolás Torasso** y **Silvia Goyanes** (Laboratorio de Polímeros & Materiales Compuestos, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires); **Gerardo Rubiolo** (Gerencia Materiales - CNEA / Instituto Sábato, UNSAM/CNEA), **Diana Grondona** (Instituto de Física del Plasma, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires).



La protección de los suelos debido al frecuente derrame de hidrocarburos es una práctica habitual en la industria del petróleo. Para ello se utilizan mantas absorbentes oleofílicas e hidrofóbicas en las cercanías de los pozos de extracción y las destilerías, con la finalidad de retener de manera selectiva el líquido derramado, sin absorción de agua. Además, este tipo de productos pueden ser utilizados en estaciones de servicio, indus-

trias aceiteras, en la limpieza de derrames de solventes orgánicos como tolueno y benceno, entre otros.

Si bien la industria del petróleo en la Argentina cuenta con proveedores establecidos de mantas oleofílicas, existe la necesidad de optimizar la relación eficiencia/costo con el fin de minimizar el impacto ambiental de la industria de forma económica. En este sentido, uno de los parámetros cruciales que caracteriza a las mantas



Objetivo

El objetivo de este trabajo fue el desarrollo de un prototipo de manta oleofílica e hidrofóbica con alta capacidad absorbente que pueda ser utilizada en la recuperación y la remoción de hidrocarburos en derrames acuosos. Además, se propuso hacerlo con una técnica y con materiales que permitan su escalado para la producción industrial.

Desarrollo y resultados

El desarrollo nace en el contexto de una tesis doctoral en física, investigando descargas en plasma de radiofrecuencia con distintos gases carbonáceos como precursores para la síntesis de estructuras nanométricas. Se logró obtener un polvo compuesto por nanopartículas poliméricas que se aglomeran conformando una red porosa nanoestructurada (Figura 1). Este material es altamente hidrofóbico y oleofílico; es decir, repele el agua y a su vez absorbe aceites e hidrocarburos.

La estructura del material es principalmente mesoporosa (Figura 2) y funciona como absorbente de derrames. En el caso de accidentes sobre el agua, tiene un efecto coagulante sobre el hidrocarburo que permite su fácil remoción, como se muestra en la figura 3. Tienen una capacidad probada de absorción de 33 g/g según un ensayo basado en la norma ASTM 726-12.

Membranas

Debido a que las nanopartículas pueden ser depositadas en diversos sustratos, surgió la idea de desarrollar membranas capaces de permear solamente los aceites e hidrocarburos cuando están mezclados con agua.

es su capacidad de absorción de hidrocarburos en relación a su peso. La misma es de suma importancia porque incide directamente en los costos de transporte, acopio y disposición final. Todos estos procesos escalan con el peso del absorbente.

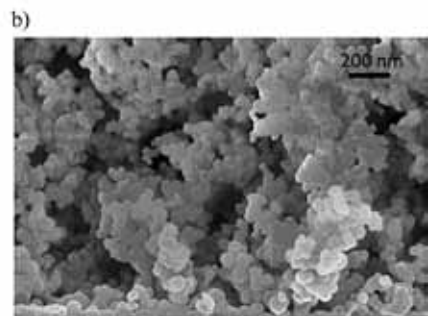


Figura 1. a) Depósito de nanopartículas hidrofóbicas extraídas del reactor en forma de escamas; b) Micrografía SEM de las nanopartículas.

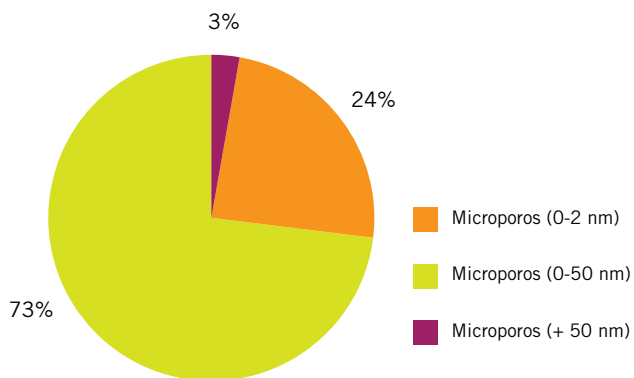


Figura 2. Análisis BET de la estructura porosa del depósito de las nanopartículas hidrofóbicas.

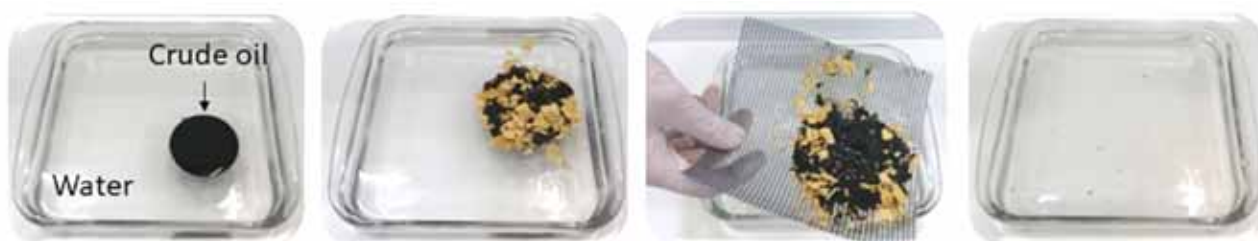


Figura 3. Demostración de absorción de petróleo crudo (a) derrame en agua (b) nanopartículas desparpilladas sobre la mancha (c) remoción del coágulo mediante una malla plástica (d) agua limpia luego del proceso.

Para eso se realizaron descargas de plasma sobre distintos materiales porosos y permeables, utilizándolos como una matriz sobre la cual se depositaron las nanopartículas. En particular, se obtuvieron muy buenos resultados utilizando telas no tejidas de polipropileno (conocidas comercialmente como friselinas). Las mem-

branas obtenidas logran una separación efectiva de los líquidos, como se observa en la figura 4. Es posible controlar la densidad superficial del recubrimiento variando el tiempo de exposición al plasma, típicamente de entre 1 y 10 min. Este tratamiento le confiere a la membrana un carácter nanoestructurado que intensifica el

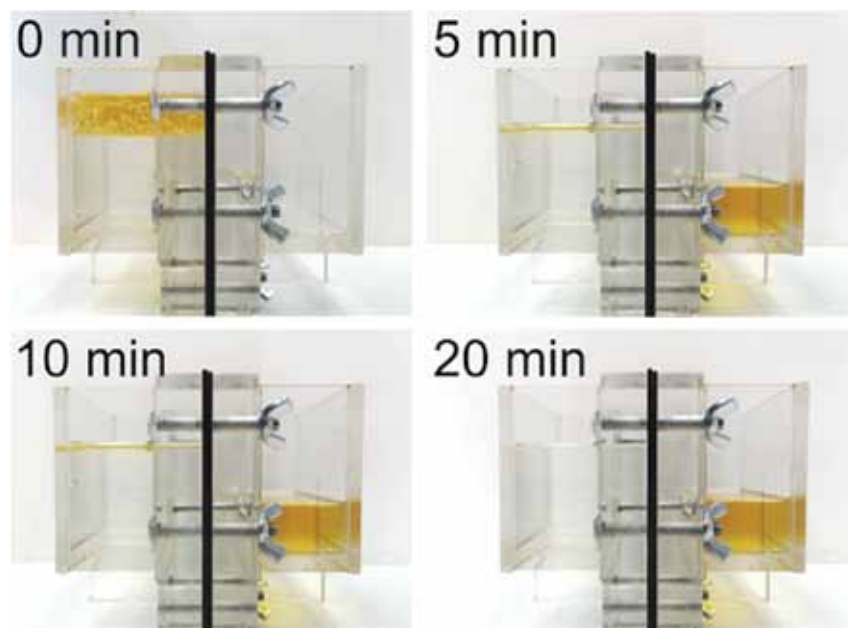


Figura 4. La membrana permite separar aceite de agua tan solo con la presión hidrostática. Está orientada verticalmente y separa el dispositivo en dos partes: en el lado izquierdo, el agua, y el aceite en contacto simultáneo con la membrana; y en el lado derecho, el aceite permeado.

rechazo al agua, a la vez que promueve la fuerza de atracción capilar hacia los hidrocarburos.

Resistencia a la presión de agua: se estudió la resistencia de las membranas a la presión de agua para distintas densidades superficiales de polímero depositado (Figura 5). Para ello se incrementó la presión hidrostática hasta observar el inicio de la permeación de agua. Se observó que la presión de ruptura aumenta linealmente conforme crece la densidad depositada.

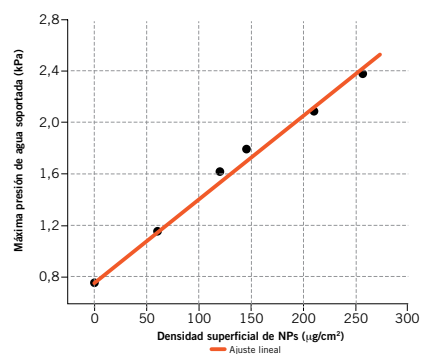


Figura 5. Presión de agua soportada por las membranas en función de la densidad superficial de recubrimiento polimérico.

Permeabilidad de las membranas: se midió la permeabilidad de las membranas mediante ensayos de permeación de aceites con condiciones de presión controladas. En la figura 6 se observa la relación entre la densidad superficial del recubrimiento de NPs y el cociente entre la permeabilidad de la membrana y la de las telas de polipropileno solas. Es decir, que se cuantifica la variación de la permeabilidad relativa al incrementar el depósito de NPs.

Mantas

Finalmente surgió la idea de utilizar estas membranas selectivas en

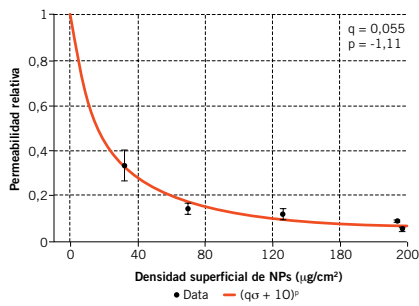


Figura 6. Permeabilidad relativa de las membranas en función de la densidad superficial de NPs.

combinación con rellenos de alta porosidad (composición protegida por secreto de patente) para hacer paños o mantas absorbentes que tuvieran propiedades superadoras a las de los productos conocidos. Luego de varias pruebas, se halló un relleno óptimo compuesto por una combinación de fibras poliméricas oleófilas con estructura altamente porosa, con posibilidad de modificar su densidad y su porosidad. Las mantas resultantes resisten la presión de agua (no se mojan ni la absorben), son capaces de absorber hasta 50 veces su propio peso y de recuperar hasta un 80% de aceites e hidrocarburos (estos valores dependen de la viscosidad y densidad del líquido). También son de bajo costo de fabricación y livianas, lo cual es una ventaja económica para su disposición final.

Absorción selectiva: la manta desarrollada puede ser utilizada para la remoción selectiva de hidrocarburos en agua. Se realizó un ensayo de absorción selectiva, como se observa en la figura 7. Se utilizó una muestra del producto para extraer mediante manipulación directa un derrame de petróleo sobre la superficie del agua.



Figura 7. Ensayo de absorción selectiva. Video completo: <https://youtu.be/ve4MuZt6UTM> en el canal LP&MC de YouTube.

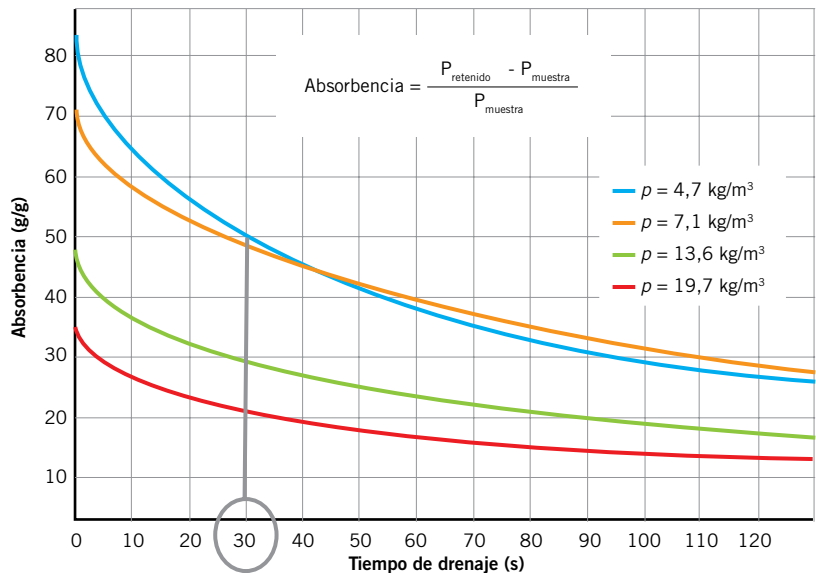


Figura 8. Drenaje gravitatorio de las mantas inmediatamente después de estar completamente sumergidas en aceite. La absorción informada es la correspondiente a 30 s.

El producto consiguió retener en su interior el petróleo sin dejar el paso del agua.

Ensayos de absorción: la absorción de las mantas fue caracterizada mediante ensayos basados en la norma ASTM F726-12 para distintas densidades del relleno y usando diversos fluidos. El ensayo consiste en depositar la muestra en un recipiente con el líquido y dejar que absorba libremente por 15 min. Luego se levanta tomándola por un borde y se drena verticalmente por 30 segundos, en ese momento se pesa el fluido retenido. En la figura 8 se muestra la evolución en el tiempo del valor de absorción una vez que se remueve la manta del recipiente con fluido, para muestras del producto con distinta densidad de relleno. El valor máximo obtenido es de 50 veces su propio peso, para la

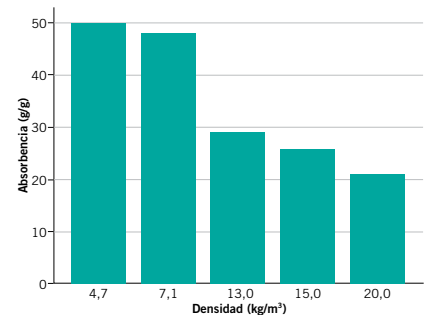


Figura 9. Variación de la absorción con la densidad del relleno protegido.

muestra de menor densidad. Se comparó este resultado con el de un absorbente de hidrocarburos comercial, que dio 27 veces su peso en las mismas condiciones.

Como se muestra en la figura 9, la relación decreciente entre densidad y absorción se mantiene para todas las muestras.

Relleno	Densidad [kg/m ³]	Absorbencia
Absorbente de hidrocarburos comercial	37 ± 3	20
Espónja de poliuretano	24 ± 2	10
Algodón	37 ± 3	18
Sin relleno	-	15
Fibras protegidas	4.7 ± 0.4	50

Tabla 1. Absorbencias de distintos rellenos envueltos en la membrana selectiva.

Se realizó el ensayo de absorción para muestras conformadas por la misma membrana hidrofóbica externa, pero usando como relleno distintos productos comerciales. En la tabla 1 se observan los resultados obtenidos, donde se puede ver que el uso del relleno protegido con menor densidad duplica la *performance* del producto comercial, evidenciando la sinergia entre la membrana y el relleno protegido.

Mercado y escalado de los productos

Si bien en el mercado ya existen varios productos para la absorción y/o remoción de aceites e hidrocarburos, estos difieren ampliamente en la relación costo *versus* capacidad absorbente y en el peso de los mismos. Como se mencionó, esto implica un costo adicional vinculado al transporte, acopio y disposición final. Además, nuestro desarrollo está conformado por nuevos materiales, distintos de aquellos de los productos comerciales existentes.

Actualmente se venden en el mercado reactores de plasma industriales para el tratamiento de las fibras de polipropileno que permiten el escalado de los productos. Se realizó entonces un análisis de costo de venta de las



Figura 10. Componentes involucrados en los costos de las membranas y las mantas.

membranas y de las mantas teniendo en cuenta los factores involucrados en el proceso de producción (Tabla 2).

Con estos criterios, el costo de producción de la membrana es de 0,48 USD/m² y el de las mantas de 1,25 USD/m², compuestos según los gráficos de la figura 10.

Considerando una ganancia de fábrica de 20% y un costo de distribución/comercialización del 80% sobre el costo total de fábrica, se estima que el precio de venta de las membranas es de 1,05 USD/m² y el de las mantas, 2,7 USD/m².

Conclusiones

Se desarrolló un producto en escala prototipo para la absorción selectiva de hidrocarburos en suelos y medios acuosos. El escalado es factible y el producto puede ser utilizado como

manta oleofílica, ya que permite, de forma efectiva, el paso de los hidrocarburos, no del agua. Su *performance* de absorción es superior a la de los productos actualmente presentes en el mercado.

Los productos obtenidos a partir de las investigaciones presentadas pueden prevenir o remediar la conta-

minación de suelos y espejos de agua contribuyendo tanto a la seguridad e higiene en ámbitos industriales, como a la conservación del ecosistema. Asimismo, la posibilidad de recuperar los líquidos contaminantes para su utilización tiene un impacto económico potencial muy alto.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado con fondos de la Universidad de Buenos Aires, del Ministerio de Educación de la Nación (Secretaría de Políticas Universitarias, en el marco del programa "Universidades Agregando Valor") y del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Agradecemos la colaboración económica de Y-Tec en el desarrollo de las membranas y a la Dra. Norma D'Accorso por su aporte a la caracterización química del polvo nanoestructurado. ■

Equipo		Energía		Tela	
Precio de venta	526.400 USD	Categoría	BT < 300 kV	Material	100% polipropileno
Horas activas nominales	24hs/día	Cargo fijo	3226 \$/mes	Costo Mercado Libre	0,084 USD/m ²
Factor de eficiencia	85%	Cargo variable	2.16 \$7kWh		
Horas activas reales	20 h/día	Potencia estimada	10 kW		
Capacidad de tratamiento	36.720 m ² /mes	Horas de trabajo	20 hs/día		
Gases		Personal		Relleno de las mantas	
Costo	144 \$/kilo	Uno por turno de 8 hs	3	Costo	0,48 USD/m ²
Eficiencia en depósito	25%	Costo empresarial	1511 USD/mes/c/u		
Depósito en membrana	2,5 g/m ²				

Tabla 2. Componentes del costo de producción de los absorbentes.