

en efecto, todos sean personas, o bien que nuestro test esté mal diseñado. Lo mismo podría estar sucediendo con los experimentos sobre metacognición animal.

A fin de demostrar que las tareas de metacognición al uso podrían ser resueltas por todas las especies, nuestro trabajo se basó en el empleo de modelos computacionales. En neurociencia cognitiva, dichos modelos simulan en un ordenador los mecanismos cerebrales responsables de un comportamiento determinado; en este caso, el que muestran los animales en las pruebas de metacognición. Nuestro estudio puso de manifiesto que ciertos modelos eran capaces de reproducir la actividad neuronal y el comportamiento de los animales tanto en el protocolo de apuesta posdecisión como en el de «opción “inseguro”». Sin embargo, dichos modelos son tan sencillos que, en principio, podrían

implementarse en el cerebro de un gusano o incluso en un vehículo de Braitenberg!

Hoy por hoy aún seguimos sin saber cómo evolucionaron las facultades metacognitivas. Pero, si los animales más simples o incluso un vehículo de Braitenberg pueden solucionar los tests mencionados, lo que sí podemos asegurar es que estos no constituyen buenas pruebas para evaluar la metacognición. Ello pone de relieve la importancia de integrar el trabajo experimental en neurociencia cognitiva con modelos computacionales que expliquen los mecanismos cerebrales subyacentes a los procesos implicados.

—*Andrea Insabato, Mario Pannunzi
y Gustavo Deco*
Dpto. tecnologías de la información
y la comunicación
Universidad Pompeu Fabra, Barcelona

PARA SABER MÁS

The comparative psychology of uncertainty monitoring and metacognition. J. David Smith, Wendy E. Shields y David A. Washburn en *Behavioral and Brain Sciences*, vol. 26, n.º 3, págs. 317-339, junio de 2003.

Honey bees selectively avoid difficult choices. Clint J. Perry y Andrew B. Barron en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, n.º 47, págs. 19.155-19.159, noviembre de 2013.

Neural correlates of metacognition: A critical perspective on current tasks. Andrea Insabato, Mario Pannunzi y Gustavo Deco en *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 71, págs. 167-175, diciembre de 2016.

EN NUESTRO ARCHIVO

Metacognición: el poder de la reflexión. Stephen M. Fleming en *MyC* n.º 75, 2015.

¿Saben los animales de dónde vienen? Holly Dunsworth en *lyC*, julio de 2016.

QUÍMICA

Eliminación de contaminantes emergentes de las aguas residuales

El empleo de materiales carbonosos derivados de residuos orgánicos permite la retirada de contaminantes tales como fármacos y productos de higiene personal

SILVIA ÁLVAREZ-TORRELLAS, GABRIEL OVEJERO Y JUAN GARCÍA RODRÍGUEZ

El agua, un recurso ecológico y económico esencial, es indispensable para la vida humana y la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, debido al rápido desarrollo económico y al uso inadecuado que se ha hecho de ella, ha sufrido un alarmante deterioro. Durante décadas, toneladas de sustancias biológicamente activas han sido vertidas al ambiente muchas veces de forma inadecuada e incontrolada.

Al problema de la contaminación de las aguas cabe añadir su escasez, aspecto que está adquiriendo proporciones alarmantes a causa del cambio climático y la creciente desertización que está sufriendo el planeta. Este hecho es especialmente acuciante en los países en vías de desarrollo.

Se estima que alrededor de 1100 millones de personas en el mundo carecen de acceso al agua con unas mínimas garantías sanitarias, mientras que 2600 millones no disponen de sistemas de saneamiento de las aguas residuales. A causa de todo ello, cada año se producen 4000 millones de

casos de diarrea, que provocan la muerte a 1,8 millones de personas, principalmente niños menores de cinco años.

Las medidas legislativas que se han ido adoptando para evitar la contaminación del agua y los riesgos que se derivan de ella han contribuido a paliar en parte este problema. Sin embargo, la creciente demanda de agua y la continua detección de nuevos contaminantes potencialmente peligrosos, conocida como contaminación emergente, dejan clara la necesidad de seguir investigando en todas aquellas áreas que ayuden a proteger la salud humana y la del ambiente, conseguir un uso sostenible del agua y atenuar los efectos de las sequías y el cambio climático.

Contaminantes emergentes

¿Cómo se definen estas sustancias? Se trata de contaminantes previamente desconocidos o no reconocidos como tales, cuya presencia en el ambiente no es necesariamente nueva, pero que han empezado a despertar preocupación. En muchos casos, corresponden a contaminantes no

controlados que podrían ser incluidos en futuras reglamentaciones según sus posibles efectos sobre la salud y su mayor o menor presencia en las aguas de consumo. Otra característica de estos compuestos es que, debido a su creciente producción y consumo, se van acumulando cada vez más en el ambiente.

La lista de contaminantes emergentes incluye una amplia variedad de productos, como fármacos, productos para el cuidado personal, disruptores endocrinos, plaguicidas, drogas de abuso, aditivos de combustibles, retardantes de llama, dioxinas, hormonas y muchas otras sustancias, fundamentalmente de carácter orgánico. Se trata de contaminantes, en su mayoría, tóxicos, persistentes y bioacumulables.

En general, estos compuestos se hallan en el medio acuático en un intervalo de concentración muy bajo (del orden de microgramos por litro). Se ha comprobado, además, que no representan riesgos agudos para los organismos acuáticos ni para los humanos. Especial-

mente preocupantes son los llamados disruptores endocrinos, puesto que se comportan como hormonas artificiales: provocan alteraciones en el crecimiento, el sistema inmunitario, el desarrollo, la reproducción y el comportamiento de los animales, siendo la feminización de los organismos acuáticos superiores uno de los efectos más alarmantes y mejor documentados.

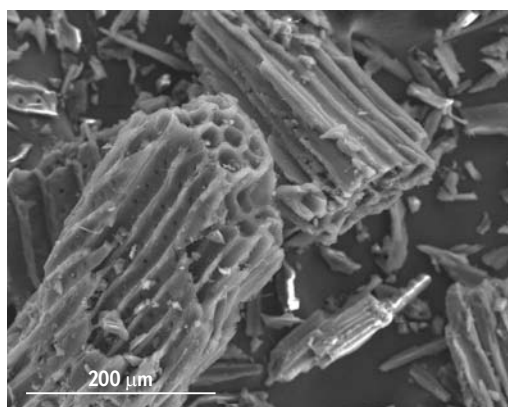
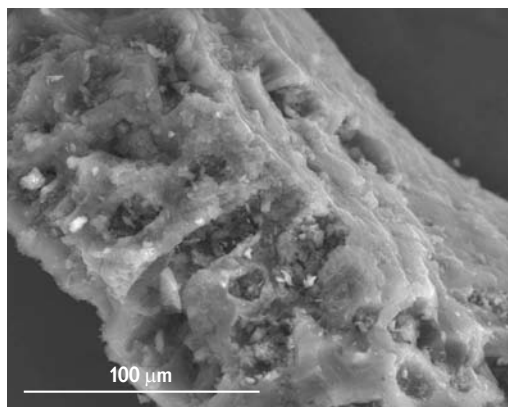
Los tratamientos de aguas residuales que emplean métodos clásicos no son, en general, adecuados para la eliminación de tales compuestos, ya que muchos de ellos persisten en los efluentes de las plantas depuradoras. La familia de contaminantes con mayor persistencia es la de compuestos farmacéuticos y, entre estos, los más relevantes son los analgésicos y los antiinflamatorios. Les siguen de cerca otros medicamentos, como los betabloqueantes (atenolol), los antibióticos y los antidepresivos.

Por tanto, es importante identificar y evaluar la eficiencia de otras técnicas de tratamiento de aguas que permitan minimizar la presencia de contaminantes emergentes con un bajo coste económico, energético y ambiental. Entre las nuevas propuestas se hallan los procesos con membranas (la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración, la ósmosis inversa, la electrodiálisis o los reactores de membranas), los procesos de oxidación avanzada (fotocatálisis o proceso Fenton), la ozonización y los tratamientos biológicos.

La adsorción

Otra de las soluciones de mayor interés para tratar los contaminantes emergentes es la adsorción, puesto que se presenta como una técnica barata, robusta y sencilla de implementar. Numerosos estudios han demostrado su eficiencia en la eliminación de ciertos fármacos y disruptores endocrinos. Además, el proceso se manifiesta extremadamente útil en la potabilización de aguas en países en vías de desarrollo, donde apenas existen estaciones depuradoras de abastecimiento general.

Una de las sustancias más empleadas en la adsorción es el carbón activado. Tradicionalmente, el que se ha utilizado en el tratamiento de las aguas residuales es el carbón activado comercial, o carbón mineral. Sin embargo, el elevado coste de este material, asociado a la



DOS DE LOS MATERIALES carbonosos empleados para eliminar contaminantes emergentes, entre ellos los de varios fármacos, han sido los derivados de hueso de melocotón (*arriba*) y de serrín (*abajo*). Imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido.

imposibilidad de regenerarlo la mayoría de las veces, hace que cada vez resulte más habitual llevar a cabo la síntesis de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos.

Carbones derivados de residuos

La síntesis de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos constituye una alternativa de recuperación de residuos de origen vegetal (huesos, cáscaras y cortezas de frutas, maderas, serrín, etcétera) que conlleva la obtención de un material con valor añadido.

En nuestros estudios hemos analizado la eficacia de varios carbones generados a partir de diferentes precursores: hueso de melocotón, cáscara de arroz y serrín. Realizamos una activación química de estos materiales que constó de dos etapas: primero impregnamos el precursor con una disolución de ácido fosfórico, a 85 grados centígrados durante 6 horas, y después lo sometimos a 400 grados centígrados durante 4 horas en presencia de aire.

Los carbones resultantes muestran propiedades texturales, morfológicas y químicas que varían en función de la naturaleza del precursor. En este caso, hemos observado que los precursores leñosos, como el hueso de melocotón y el serrín, generan carbones con una elevada microporosidad, lo que da lugar a una superficie específica (superficie disponible para la adsorción) de 1521 y 796 metros cuadrados por gramo, respectivamente. En cambio, la cáscara de arroz origina un carbón de carácter mesoporoso (con poros de mayor tamaño), menor superficie específica (278 metros cuadrados por gramo) y un alto porcentaje de cenizas (estas corresponden al residuo inorgánico resultante de la incineración del material; cuantas más se producen, menos poder calorífico y peores propiedades mecánicas presenta el carbón).

El estudio de las propiedades texturales de sólidos porosos se describe generalmente mediante la determinación de isotermas de adsorción-desorción de nitrógeno, un gas inerte. Cuando un sólido poroso, como el carbón activado, se pone en contacto con nitrógeno a una determinada presión, el sólido comienza a adsorber el gas. A medida que aumenta la presión del gas, las moléculas de este se van adsorbiendo formando una monocapa sobre el material, y, a medida que aumenta la cantidad adsorbida, el nitrógeno se ordena en capas sucesivas en el interior del poro. Si se reduce la presión del gas, este empieza a salir del interior de los poros, produciéndose lo que se conoce como desorción. La cantidad de nitrógeno adsorbido a una temperatura dada (77 grados kelvin) para distintas presiones del gas se denomina isoterma de adsorción.

Tras elaborar las isotermas de adsorción-desorción de nitrógeno en los carbones estudiados, hemos comprobado que el derivado de hueso de melocotón presenta la mayor superficie específica, seguido del de serrín, que muestra valores intermedios, y, por último, del de cáscara de arroz, con los valores más bajos.

Asimismo, hemos obtenido las isotermas de los materiales carbonosos por lo que respecta a la adsorción de diversos contaminantes emergentes del agua: el ibuprofeno, la tetraciclina, el diclofenaco y el naproxeno. En todos los casos hemos observado valores excelentes de capacidad de adsorción. Especialmente notable



El arte de las Musas

Neurociencia cognitiva de la música

Noelia Martínez Molina
Universidad de Barcelona



El reloj de Deborah

Materiales y sistemas desordenados

Luis Carlos Pardo
Universidad Politécnica de Cataluña



Cuantos completos

Tecnologías cuánticas y mucho más

Carlos Sabín
Universidad de Nottingham



Química, aire y ambiente

La química del mundo que nos rodea

Xavier Giménez Font
Universidad de Barcelona



Neurociencia computacional

Inteligencia artificial para la psicología y la neurociencia

Carlos Pelta
Universidad Complutense de Madrid



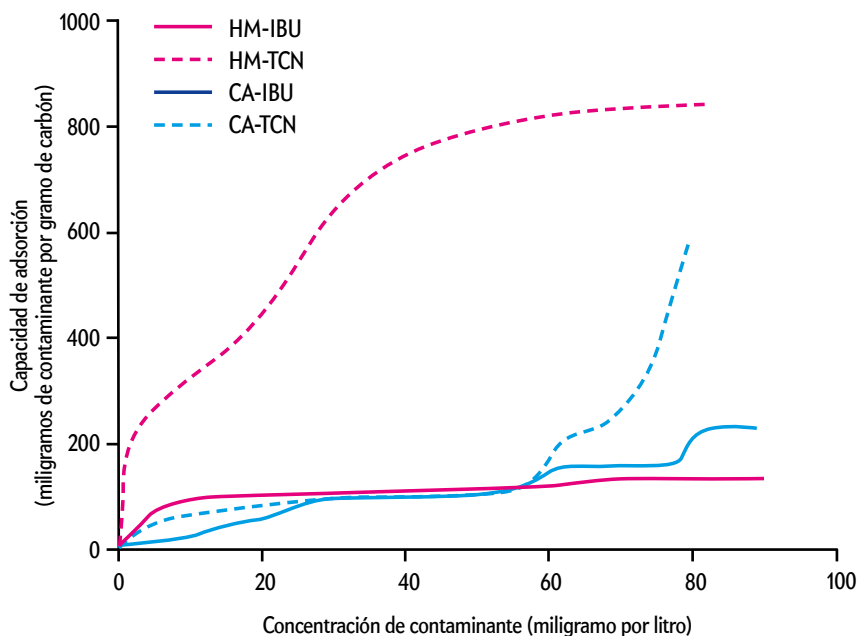
Materia Blanda

Física de los materiales

Ángel Garcimartín Montero
Universidad de Navarra

Y mucho más...

www.scilogs.es



LOS MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS estudiados exhiben distinta capacidad de adsorción, la cual varía también en función del contaminante eliminado. Se representan aquí las isoterma de adsorción del carbón de hueso de melocotón (HM) y de cáscara de arroz (CA) para el ibuprofeno (IBU) y la tetraciclina (TCN). Destaca la elevada capacidad de retención de tetraciclina por parte del carbón de hueso de melocotón.

es la eliminación de tetraciclina mediante carbón activado generado a partir de hueso de melocotón: partiendo de un agua con una concentración de contaminante de 100 miligramos por litro, hemos comprobado que este material retira del agua hasta 846 miligramos de tetraciclina por gramo de adsorbente.

De nuestras investigaciones hemos extraído la conclusión general de que los carbones activados más microporosos, al presentar mayor superficie disponible para la adsorción, exhiben valores elevados de eliminación de contaminantes emergentes. Este es el caso de los carbones sintetizados a partir de hueso de melocotón y serrín. Los carbones con mayor porcentaje de mesoporosidad, como el derivado de la cáscara de arroz, muestran menor capacidad de adsorción e isoterma con perfil multicapa, donde el contaminante se orienta en sucesivas capas sobre las paredes del poro.

La adsorción se clasifica como un proceso de tratamiento de carácter terciario, con lo que su adecuada aplicación va a estar centrada en el tratamiento final de efluentes de reactores de tratamiento biológico en las plantas de depuración de aguas residuales. Aunque la técnica es de fácil operabilidad, resulta imperativo mejorar los costes asociados al carbón activado, por lo que deben investigarse nue-

vos materiales más selectivos y baratos. También deben idearse sistemas para la regeneración del adsorbente, siendo este último paso el principal caballo de batalla de la técnica.

—Silvia Álvarez-Torrellas,
Gabriel Ovejero
y Juan García Rodríguez
Grupo de catálisis
y procesos de separación

Facultad de ciencias químicas
Universidad Complutense de Madrid

PARA SABER MÁS

Non-regulated water contaminants:

Emerging research. C. G. Daughton en *Environmental impact assessment*, vol. 24, págs. 711-732, 2004.

Comparative adsorption performance of ibuprofen and tetracycline from aqueous solution by carbonaceous materials.

S. Álvarez-Torrellas et al. en *Chemical Engineering Journal*, vol. 283, págs. 936-947, 2016.

EN NUESTRO ARCHIVO

Reutilización de aguas residuales. Olive Heffernan en *IyC*, septiembre de 2014.

Depuración natural de aguas residuales.

Cristina Ávila, Víctor Matamoros y Joan García en *IyC*, febrero de 2016.