

¿Qué tiene que ver la piezoelectricidad con la inteligencia?

Pilar Amo-Ochoa

Resumen: ¿Sabe lo que son los Materiales Inteligentes?. Si desconoce su existencia, no sabrá cómo se mejoran las prestaciones de su vehículo, no elegirá alimentos más frescos, o no escogerá el material adecuado para su escalada del fin de semana. En este artículo de divulgación científica se describe de forma general el significado de estos materiales, también llamados estímulo-respuesta y, algunas de sus interesantes aplicaciones como sensores en campos como el de seguridad, energía o detección de compuestos orgánicos volátiles.

Palabras clave: Materiales Inteligentes; Estimulo Respuesta; Química.

Abstract: Do you know what are the Smart Materials?. If unaware of their existence, you will not know how the performance of your vehicle are improved, you will not choose more fresh foods, or you will not choose the right material for climbing weekend. In this scientific dissemination article, the meaning of these also called stimulus response materials is described in a generalist way. Also some of their interesting applications as sensors in areas such as security, energy or volatile organic compounds detection are described.

Keywords: Smart Materials; Stimulus Response; Chemistry.

INTRODUCCIÓN

El concepto de *inteligencia*, estudiado desde hace décadas, es diverso y controvertido. En este artículo no pretendemos adentrarnos en un terreno pedregoso, pero sí, somos conscientes de que esa palabra tiene importancia social y científica. De forma somera se dice que la *inteligencia* es la capacidad de pensar, entender, razonar, asimilar, elaborar información y emplear el uso de la lógica y parece además estar ligada con la “capacidad de recibir información”. Entre otras cosas nos permite elegir para resolver un problema.^[1,2] Pero la naturaleza nos muestra que la *inteligencia* es también una cuestión de grado; podemos encontrar rasgos inteligentes en aquellas situaciones en el que el ecosistema alberga sistemas biológicos capaces de ahorrar energía frente a otras alternativas más costosas o en el hecho de encontrar el camino más corto entre dos puntos. Esta capacidad de elegir es una muestra de que se está aplicando algún tipo de lógica, cuyo procesamiento da evidencias de un grado de *inteligencia*. Encontrar el camino más corto entre dos puntos de un

laberinto lo realizan unos organismos unicelulares con múltiples núcleos llamados plasmoides^[3] y es el mejor ejemplo de procesamiento de información sin poseer un sistema nervioso.

La controversia sobre la *inteligencia* deriva hacia la idea de si la “inteligencia humana” contiene algún aspecto que la diferencie de forma cualitativa de las demás especies. Sólo a partir de Darwin hemos comprendido que no somos la *especie elegida*, sino una especie única entre otras muchas especies únicas.

Hace 135 años, los hermanos Curie, apasionados de la cristalografía e individuos inteligentes (J. Curie, fue premio Nobel de Física en el año 1904),^[4] se dedicaban a ejercer presión sobre un mineral llamado cuarzo (Figura 1). Al someterlo a la acción mecánica de la compresión, observaron la aparición de chispas que atribuyeron a una separación de las cargas de la materia. Decidieron entonces, como era habitual en aquella época, utilizar la terminología griega para definir ese fenómeno escogiendo el término *piezein*, “estrujar o apretar” del que derivó la “piezoelectricidad”. Este fenómeno ya de por sí interesante, lo fue aún más cuando después de concienzudos estudios, vieron que igualmente se producía a la inversa: el cuarzo se deformaba físicamente al ser sometido a un campo eléctrico. Es decir, el efecto piezoeléctrico es normalmente reversible: al dejar de someter a los cristales a un voltaje exterior o campo eléctrico, recuperan su forma. La piezoelectricidad se produce en todos aquellos materiales que carecen de centro de simetría.



P. Amo-Ochoa

Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias,
Departamento de Química Inorgánica, C-7
Ciudad Universitaria de Cantoblanco, 28049, Madrid
C-e: pilar.amo@uam.es

Recibido: 14/10/2016. Aceptado: 07/11/2016.

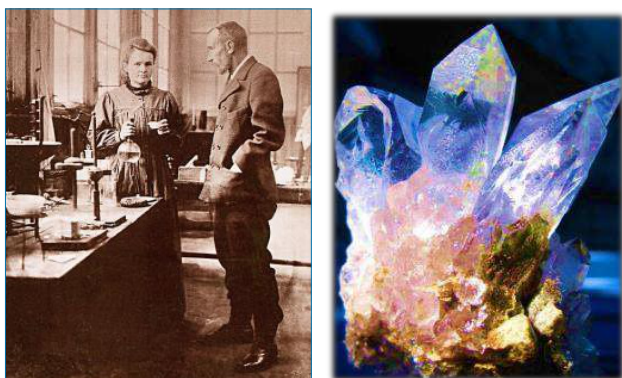


Figura 1. Imagen de Pierre y Marie Curie (izquierda); Cuarzo como ejemplo de material piezoeléctrico (derecha)

Una propiedad tan interesante no pasó demasiado tiempo desapercibida y en la primera guerra mundial se descubrió que las ondas sonoras producidas por los submarinos podían ser detectadas por un trozo de cuarzo sumergido en el agua. En él, se medían las corrientes generadas pudiéndose detectar de qué dirección venía el sonido. Esto dio lugar a la invención del sonar (transformar una señal mecánica (la presión) en una señal eléctrica (corriente eléctrica)). Menos bélico es su uso en sensores de vibración por ejemplo para detectar terremotos o en rascacielos. Y para los amantes de la música tenemos las pastillas piezoeléctricas de guitarra, basta con conectar un cable eléctrico a cada una de las caras del cristal y enviar esta señal hacia un amplificador. Otra de sus grandes y no menos importantes aplicaciones ha sido en los encendedores, que en su interior llevan un cristal piezoeléctrico que es golpeado de forma brusca por el mecanismo de encendido. Este golpe seco provoca una elevada concentración de carga eléctrica, capaz de crear un arco voltaico o chispa que encenderá el mechero.

¿QUÉ TIENE QUE VER LA PIEZOELECTRICIDAD CON LA INTELIGENCIA?

Desde ese descubrimiento los científicos han trabajado en la creación de materiales que responden a estímulos del entorno es decir, a señales que son capaces de provocar un cambio o una reacción en los materiales y lo hacen de una forma útil, reproducible, exacta y reversible. Estos materiales se han denominado *inteligentes* por su capacidad de responder a estos estímulos externos.^[5] Podemos ver que hay cientos de estímulos diferentes asociados a cientos de respuestas distintas y que, por lo tanto, deberían existir cientos de materiales Estímulo-Respuesta con cientos de posibles aplicaciones diferentes. Solo hay que buscarlos...

Desde un punto de vista científico, los estímulos pueden ser físicos como la temperatura, la presión la electricidad o químicos, como disolventes, cambios de pH etc., y las repuestas pueden ser a su vez muy variadas con posibilidad de cambiar su forma, su color, su textura, etc. (Figura 2).

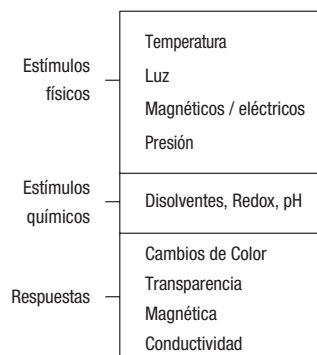


Figura 2. Ejemplos de algunos tipos de estímulos (físicos y químicos) y algunos tipos de respuestas

DISCUSIÓN. AVANCES DESDE EL AÑO 1881

En 1938 *Arne Olande*^[6] descubrió el primer material (una aleación metálica de oro y cadmio) que tenía la capacidad de “recordar” su forma cuando era calentado. 25 años más tarde W. J. Buehler y *et al.*, del laboratorio Naval de Ordinance (EE. UU.)^[7,8] descubrieron una nueva aleación a la que llamaron *NiTiNOL* (*Níquel, Titanio, Naval Ordinance Lab*). Así apareció una familia de materiales con *Memoria de Forma* que se deforman de forma controlada al alcanzar cierta temperatura. Desde el punto de vista científico presentan varias fases estables y reversibles a distintas temperaturas^[7] (Figura 3).

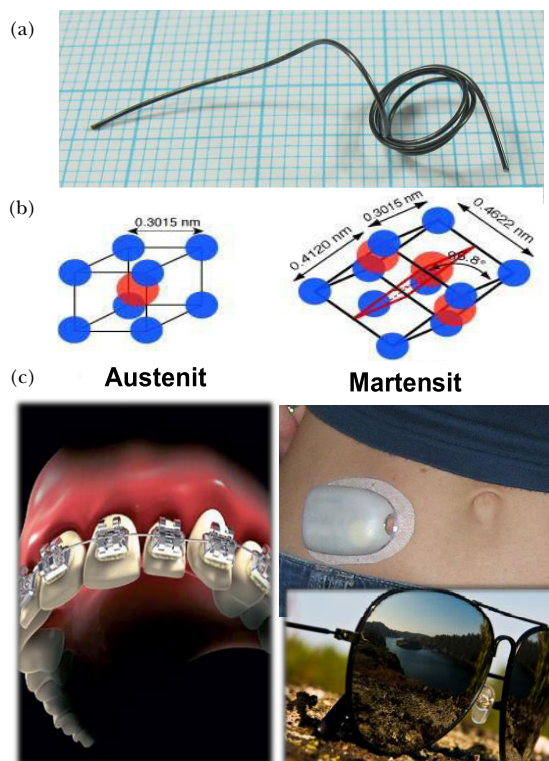


Figura 3. Material con memoria de forma, El NiTiNol (a); fases estables del NiTiNol (b); Algunas de sus posible aplicaciones (c)



Figura 4. La revolución de los materiales inteligentes estímulo- respuesta de los últimos 50 años

Gracias a estos descubrimientos, los diabéticos cuentan con un pequeño dispositivo dispensador de insulina que utiliza un diminuto trozo de NiTiNol el cual se deforma con la aplicación de electricidad, permitiendo la adición de insulina de forma controlada, posibilitando un estilo de vida un poco más cómodo, y lo mismo podemos decir de los ortodoncistas, de los enfermos de arterioesclerosis, mencionando solamente algunas de sus aplicaciones (Figura 3c).

En los últimos 50 años esta búsqueda se ha convertido en una verdadera revolución y podríamos estar hablando de: “¿Quiere usted un material inteligente? Nosotros le diseñamos uno”, o “Ponga un material inteligente en su vida” (Figura 4).

En la actualidad cada vez es más fácil encontrar un material que presenta una respuesta frente un estímulo determinado. Como decíamos, tenemos un amplio cartel de posibilidades (Tabla 1).^[9]

Tabla 1. Materiales clasificados en función del estímulo y la respuesta emitida

Respuesta	Eléctrica	Magnética	Óptica	Térmica	Mecánica
Estímulo					
Eléctrico			Electrocromico Electroluminescente Electro-óptico	Termoelectrico	Piezoeléctrico Electrostrictivo ER Fluids
Magnético			Magneto-óptico		Fluidos MR
Óptico	Fotoconductor		Fotocromico		
Térmico			Termocromico Termoluminescente		Memoria de Forma
Mecánico	Piezoeléctrico Electrostrictivo	Magnetostrictivo	Mecanocromico		Poisson Negativo

EJEMPLOS DE MATERIALES ESTÍMULO-RESPUESTA EN AUTOMOCIÓN

Para mejorar las prestaciones de los vehículos la ciencia de los materiales presenta una posible solución basada en los “Fluidos Magnetoreológicos”,^[10] materiales inteligentes en suspensión de un líquido transportador, normalmente un aceite que hace de surfactante rodeando las partículas, protegiéndolas. Las partículas (normalmente hierro) suspendidas tienen tamaño micrométrico e im-

portantes efectos en la consistencia del fluido. Cuando esta suspensión se expone a un campo magnético (un imán), las partículas se alinean espesando el fluido hasta su solidificación. Convirtiéndose en un material viscoelástico. Los fluidos magneto-reológicos se diferencian de los **ferrofluidos** en el tamaño de las partículas que los componen siendo en el último caso de tamaño nanométrico.^[10,11] Una aplicación interesante de los fluidos magnetoreológicos es en los amortiguadores y frenos de los automóviles, en lugar del aceite convencional. El dispositivo actúa con un electroimán lo que permite que la viscosidad del fluido (y por ende la cantidad de amortiguamiento proporcionada por el amortiguador) pueda ser variada de acuerdo a la preferencia del conductor o de manera dinámica para proporcionar control de estabilidad (Figura 5).

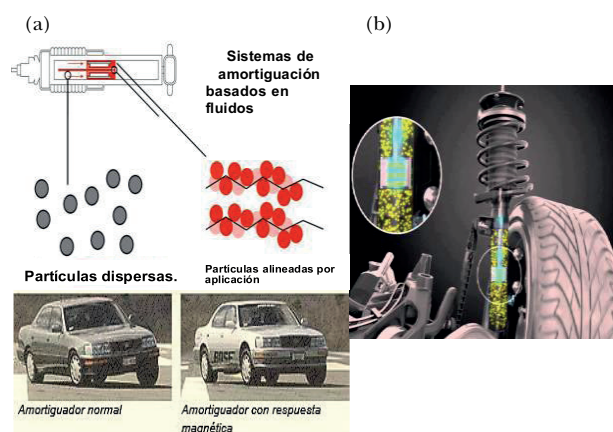


Figura 5. Fluidos magnetoreológicos; Aplicaciones en el sistema de amortiguación de vehículos (a y b)

EJEMPLOS DE MATERIALES ESTÍMULO-RESPUESTA RESISTENTES A LA FRACTURA

Para la práctica de deportes de riesgo existe la posibilidad de usar **Materiales Auxéticos**. El nombre proviene del griego, y significa “que tiende a crecer” ya que la raíz *auxesis*, expresa *aumento*. Con este nombre se designan a los materiales (moléculas individuales, cristales, etc.) que tienen un *coeficiente de Poisson* negativo.^[12] Este coeficiente entra de lleno en el campo de las propiedades mecánicas de los materiales. De forma abreviada comentaremos que si a un material elástico se le aplica una fuerza en una dirección (tracción), el material sufrirá una deformación en la dirección de la tensión o fuerza aplicada siguiendo la ley de Hooke, es decir, aumentará de longitud. Simultáneamente se producirá una deformación en la dirección perpendicular a la tensión aplicada, es decir, este aumento de longitud conlleva una disminución de la sección transversal del objeto. Si eso ocurre, decimos que ese material es convencional y tiene un coeficiente de Poisson positivo (Figura 6).

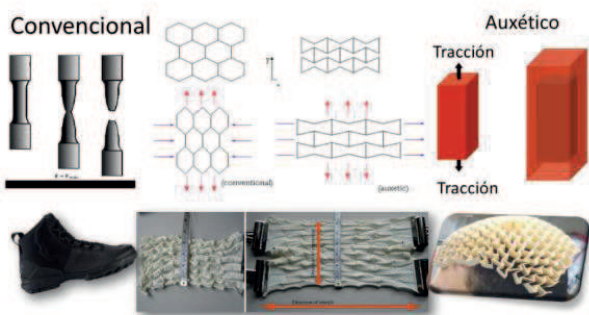


Figura 6. Materiales auxéticos frente a materiales convencionales (arriba); Aplicaciones en objetos resistentes a los impactos (abajo)

Sin embargo, los materiales auxéticos son aquéllos que cuando los estiramos en una dirección, la dimensión en la dirección transversal a la dirección del estiramiento también aumenta. Eso es, en principio, sorprendente. Esto se produce debido a su estructura (tipo bisagra), que tiene la característica de doblarse cuando se estira (Figura 6). Los materiales auxéticos se conocen desde hace aproximadamente un siglo, pero se han estudiado sistemáticamente desde hace no más de tres décadas, encontrando aplicaciones en materia de empaquetado, material de absorción de impactos... (Figura 6), gracias a sus interesantes propiedades como materiales que absorben una gran cantidad de energía antes de fracturarse.

EJEMPLOS DE MATERIALES ESTÍMULO-RESPUESTA EN ENERGÍA

En el campo del ahorro energético hay muchas opciones, por lo que se puede elegir o combinar varias de ellas. Algunas de las cuales se indican a continuación:

- Recubrir el tejado de las casas con materiales inteligentes basados en **polímeros con termorespuesta** (sensores de temperatura) como el poly-N- isopropylacrylamide (NIPAM).^[13] A temperaturas inferiores a los 32°C este polímero se hincha tomando agua (hidrófilo) de la atmósfera y por encima de esta temperatura el polímero cambia a un estado hidrófobo *sudando* en el proceso, es decir liberando agua, disminuyendo su volumen y manteniéndose frío durante la evaporación del agua eliminada. El estudio realizado en zonas de clima tropical muestra posibles reducciones de hasta un 60% en la factura de la luz en hogares.
- Colocar en edificios de oficinas, ventanas inteligentes de **óxidos de metales de transición**.^[14]

La mayoría de nosotros pasamos alrededor del 90% del tiempo en el interior de algún edificio. Demandamos calor en invierno y fresco en verano. El problema es que para conseguir ese confort (ventilación, calentamiento, iluminación...) los europeos gastamos aproximadamente

el 40% de la energía total, es decir, un 4% del producto interior bruto. Este consumo energético puede reducirse con los nuevos materiales inteligentes basados en recubrimientos de nanocristales de **óxidos de metales de transición**, los cuales actúan como sensores, alterando su color o su transparencia. Estos materiales son sensibles a pequeños cambios medioambientales, lo que nos permite realizar una “ventilación a demanda”. Uno de los más utilizados por sus propiedades y bajo coste es el óxido de níquel (II).^[15] El mecanismo, consiste en la colocación de este óxido como ánodo en las llamadas *ventanas inteligentes*, pues tiene la capacidad reversible de cambiar de color al absorber agua debido a la formación de diferentes estructuras cristalinas. Al ponerse oscuro o hacerse opaco, limita la entrada de las radiaciones ultravioleta, contribuyendo a evitar un aumento excesivo en la temperatura interior del edificio.

EJEMPLOS DE MATERIALES ESTÍMULO-RESPUESTA EN SISTEMAS DE DETECCIÓN DE DAÑOS ESTRUCTURALES

La ciencia de los materiales ha descubierto una clase de materiales muy innovadora, basada en compuestos con *sentidos* de forma similar a los seres humanos, es decir, materiales con *sistema nervioso* o **materiales autoreparadores**,^[16] diseñados para mejorar la seguridad personal y pública mediante la prevención. Funcionan mediante una detección temprana del posible daño estructural o deterioro, previendo la formación de fallas. Los materiales pueden fallar repentinamente, pero podemos conocer el posible fallo con tiempo suficiente.

Son sensibles al estrés, a la presión y a la fuerza. Algunos ejemplos de este tipo de sistemas están basados en nanotubos de carbono. Su tamaño, su resistencia mecánica (una capa de nanotubos de carbono puede alcanzar 50 veces la resistencia del acero siendo su densidad en masa 6 veces más pequeña) y su conductividad eléctrica (100 veces mayor que la del cobre), los hacen muy interesantes para fabricar sensores y actuadores en aplicaciones estructurales. Otros sistemas están basados en la combinación de aleaciones metálicas con memoria de forma junto con materiales piezoeléctricos y dispositivos electrónicos. Esta mezcla genera nuevos materiales híbridos que pueden utilizarse para la vigilancia y prevención de daños estructurales por ejemplo en reactores nucleares, ayudando a mejorar la seguridad de estas instalaciones.

EJEMPLOS DE MATERIALES ESTÍMULO-RESPUESTA EN LA INDUSTRIA DE LA ALIMENTACIÓN Y EMPAQUETADO

Tan solo en Estados Unidos más de 40 millones de personas sufren anualmente algún tipo de intoxicación alimentaria y de ellos, alrededor de 138 mil acaban hospita-



Figura 7. Alimentos frescos con marcadores basados en productos químicos que cambian del color con el pH

lizados, terminando en fallecimiento del orden de 3.000. Para evitar estos problemas, la industria del empaquetado y de alimentación está utilizando **materiales inteligentes con respuesta a los cambios del pH, a la presencia de gases o sensibles a los cambios de temperatura.**^[17] Los alimentos frescos se empaquetan con un marcador inteligente, que mostrará la calidad del producto. Los alimentos refrigerados usan indicadores basados en compuestos fotocromáticos o termocromáticos. De esta manera, se puede conocer la calidad de los alimentos al adquirirlos.

El estado de la carne o del pescado puede medirse en función de la cantidad de amoníaco o sulfuro que emite (más amoníaco menos fresca). Aprovechando esta propiedad, se puede introducir en el envasado una tinta especial fabricada con productos químicos que cambian de color en función de la cantidad de amoníaco emitida. De esta manera, los consumidores pueden elegir y conocer el estado de los productos que van a consumir. De la misma manera, en el empaquetado de los productos refrigerados se implantarán compuestos químicos sensibles a la temperatura que nos permitan conocer si durante el proceso de almacenaje y transporte el producto ha estado en las condiciones adecuadas de refrigeración.

EJEMPLOS DE MATERIALES ESTÍMULO-RESPUESTA EN SISTEMAS DE DETECCIÓN DE COMPUESTOS TÓXICOS VOLÁTILES

La detección de gases tóxicos o de compuestos orgánicos volátiles (COVs), puede llevarse a cabo con estos materiales. Un ejemplo de ello son los polímeros de coordinación (PCs) con cadenas dobles Cu(I)-I. Estos polímeros de coordinación pueden actuar como *sensores* ya que responden a la presencia de determinados tipos de gases cambiando sus propiedades eléctricas.^[18,19]

Estos compuestos están basados en materiales versátiles y variados con estructuras dinámicas conocidos como polímeros de coordinación (compuestos formados por ion/es metálico/s y un/os ligando/s orgánico/s).

Algunos de ellos, como los que contienen dobles cadenas cobre-yodo y ligandos orgánicos derivados de piridinas, de fórmula genérica [CuX(L)]_n (donde L puede ser un derivado orgánico de la piridina como el 2-amino-5-nitropiridina (ANP) y X = el halógeno Cl⁻, Br⁻ o I⁻ (Figura 8, [a]), forman cadenas capaces de actuar como un muelle frente a diferentes estímulos (gases o

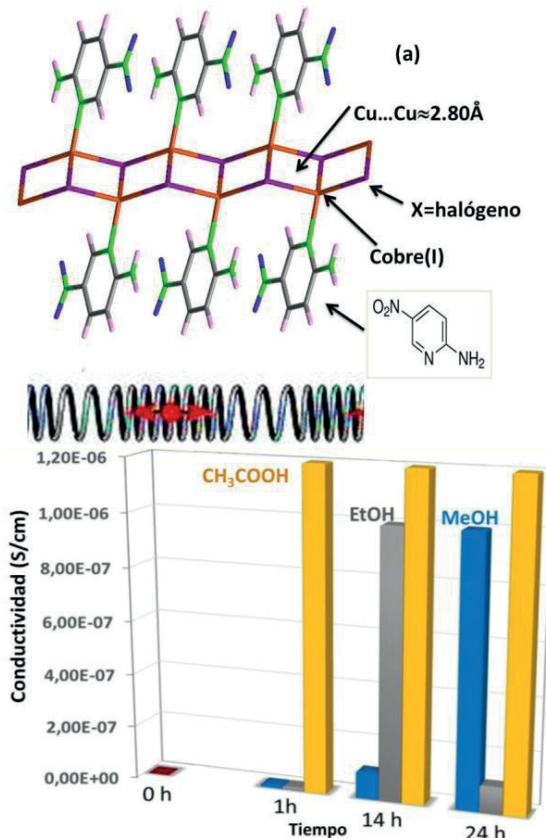


Figura 8. Polímero de coordinación de Cu(I) de fórmula [Cu(ANP)]_n (a). Las cadenas pueden elongarse o encogerse como en un muelle en presencia de estímulos externos (gases), modificando sus propiedades eléctricas (abajo)

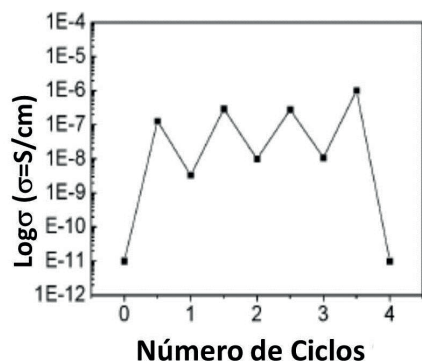


Figura 9. Respuesta eléctrica del polímero [CuI(ANP)]_n a distintos ciclos de ácido acético a 25°C

temperatura), los cuales provocan una respuesta en su comportamiento eléctrico. Es decir, la presencia de determinados tipos de gases modifica, de forma reversible, la conductividad eléctrica de estos polímeros de coordinación monodimensionales de cobre (I) (Figura 8).^[18,19]

Aprovechando esta característica, se ha estudiado su posible aplicación como *sensores* para determinar la presencia de compuestos orgánicos volátiles que presentan toxicidad, ensayándose frente al dietil éter, el metilfosfonato de dimetilo, el diclorometano, el ácido acético, el etanol o el metanol. Aquellos disolventes (o compuestos orgánicos volátiles) que pueden formar enlaces de hidrógeno (como el etanol, el metanol o el ácido acético), interaccionan con estos compuestos produciendo un aumento en la conductividad eléctrica del polímero en cuestión. Esta respuesta eléctrica es reproducible durante largos períodos de tiempo y el proceso es *on-off*, es decir, el material recupera la conductividad eléctrica inicial en ausencia del disolvente (Figura 9).

CONCLUSIONES

En un futuro muy cercano, los materiales inteligentes permitirán crear desde guantes quirúrgicos diseñados para hacer que el cerebro reciba distintas sensaciones como cambios de presión o cambios de temperatura, hasta dispositivos detectores de enfermedades con la finalidad de prevenirlas. Los campos de aplicación son ilimitados y la combinación para obtener nuevos materiales casi infinita. Según la base de datos, ISI web of Knowledge en los últimos 20 años se ha multiplicado por 10 el número de publicaciones anuales sobre este tema, con más de 18.000 trabajos relacionados. Las futuras aplicaciones de estos materiales abarcarán desde instrumentos electrónicos, procesadores, transductores, etc., hasta dispositivos aeroespaciales, analíticos y militares. Por todo ello, es seguro que los materiales inteligentes “estímulo respuesta” darán mucho que hablar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Síntesis de un fluido magnetoreológico

Materiales: Hierro en polvo (micropartículas), aceite de girasol e imán (a ser posible de neodimio). Varilla y recipiente de vidrio para el mezclado.

Procedimiento: Mezclar a temperatura ambiente el aceite con el hierro finamente pulverizado hasta formar una suspensión gris. Una vez conseguido, acercar el imán al recipiente de vidrio; se observará un cambio de estado de líquido a sólido. Si procede a alejar el imán el fluido magnetoreológico volverá a estado líquido.

Síntesis de [CuI(2-amino-5-nitropiridina)]_n ([CuI(ANP)]_n)

CuI (50 mg, 0,26 mmol) y 2-amino-5-nitropiridina (ANP) (36 mg, 0,26 mmol) se disuelven en 12 ml de acetonitrilo. La solución amarilla resultante se agita durante 2 horas a 25 °C y se filtra al aire. Una vez filtrada se deja cristalizar a 25 °C en una placa petri. Después de una semana, se obtienen cristales de color amarillo que se filtran y se lavan con agua, acetonitrilo y éter dietílico, secándose al aire (38 mg, rendimiento del 44% basado en Cu). Una cantidad apropiada de estos cristales se prensa para fabricar una pastilla y esta se dispone en un dispositivo similar al de la Figura 10, donde podrán detectarse cambios en la conductividad eléctrica en la presencia de ácido acético gaseoso, mediante el uso de un conductímetro.^[19]

AGRADECIMIENTOS

Se agradecen las subvenciones recibidas por la Real Sociedad Española de Química (Sección Territorial de Madrid), el Ministerio de Investigación y Ciencia MICINN (MAT2013-46753-C2-1-P; MAT2013-46502-C2-1 y 2-P y MAT2016-75883-C2-2-P).

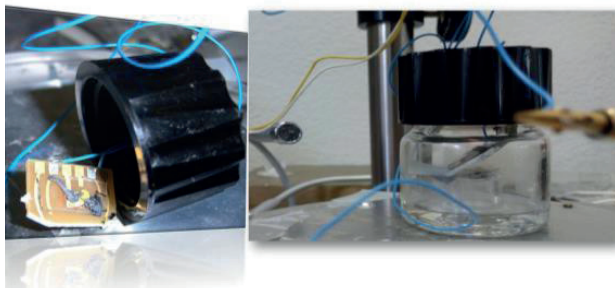


Figura 10. Dispositivo para el estudio de la respuesta eléctrica frente a gases

BIBLIOGRAFÍA

- [1] La inteligencia - Matej Hochel y Emilio Gomez Milán <https://espanol.free-ebooks.net/ebook/La-inteligencia>
- [2] R. W. Howard, *British J. Psychology*, **1993**, *84*, 27-37.
- [3] (a) T. Umedachi, K. Ito, A. Ishiguro, *Adaptive behavior*, **2015**, *23*(2), 97-108. (b) Y. H. Wu, Z.L. Zhang, Y. Leng, H. Zhou, T. Quian, *Neurocomputing*, **2015**, *148*, 63-69.
- [4] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1904/
- [5] S. Guragain, B.P. Bastakoti, V. Malgras, K. Nakashima, Y. Yamauchi, *Chem. Eur. J.* **2015**, *21* (38) 13164-13174.
- [6] A. Ölander, *J. Am. Chem. Soc.* **1932**, *54*, 3819-3833.
- [7] (a) W. J. Buehler, J. V. Gilfrich, R. C. Wiley, *J. Appl. Phys.* **1963**, *34*, 1475-1477. (b) F. E. Wang, W. J. Buehler, S. J. Pickart, *J. Appl. Phys.* **1965**, *36*, 3232-3239.
- [8] <http://www.bing.com/videos/search?q=nitinol+&&view=detail&mid=E1CD1E757D356EFC7F78E1CD1E757D356EFC7F78&FORM=VRDGR>
- [9] (a) A. J. McConnell, C. S. Wood, P. P. Neelakandan, and J. R. Nitschke, *Chem. Rev.* **2015**, *115*, 7729-7793. (b) Z. Hu, B. J. Deibert and J. Li, *Chem. Soc. Rev.*, **2014**, *43*, 5815-5840, (c) G. Z., Shanhua X., X. Han, B. Xin, Y. Yang, X. Wang, G. Li, Z. Shi y S. Feng *RSC Adv.*, **2015**, *5*, 40792-40797.
- [10] S. Hess, C. Aust, L. Bennett, M. Kroger, C.P. Borgmeyer, T. Weider, *Physica A*. **1997**, *240* (1-2), 126-144.
- [11] R. S. Lakes, *Science*, **1987**, *235* (4792) 1038-40.
- [12] A Paquit, K. Tong-lau, H Mclaughlin, J. Fresby, B. Quilty, D. Diamond. *Talanta*, **2006**, *69*, 515-523.
- [13] R. Pelton, *J. Colloid Interface Sci.* **2010**, *348* (2), 673-674.
- [14] Shi-Di Lan Chi-Jung Chang, Chih-Feng Huang, Jem- Kun Ch *RSC Adv.* **2015**, *5*, 73742-73751.
- [15] C. G. Granqvist, A. Azens, J. Smulko, L. B. Kish, *J. Phys: Conference Series*, **2007**, *93*, 012021.
- [16] (a) M. Hakovirta, B. Aksoy, J. Hakovirta, *Mater. Sci. Eng.*, **2015**, *53*, 331-335. (b) S. Mekid, N. Saheb, S. M. A. Khan, K. K Qureshi, *Sci. Technol. Adv. Mater.* **2015**, *16*, 034607.
- [17] S. S. Nagarkar, A. V. Desai, S. K. Ghosh, *Chem. Asian J.* **2014**, *9* (9), 2358-2376.
- [18] K. Hassanein, P. Amo-Ochoa, C. J. Gómez-García, S. Delgado, O. Castillo, P. Ocón, J. I. Martínez, J. Perles y F. Zamora. *Inorg. Chem.* **2015**, *54*, 10738-10747.
- [12] (a) P. Amo-Ochoa, K. Hassanein, C. J. Gómez-García, S. Benmansour, J. Perles, O. Castillo, J. I. Martínez, P. Ocón y F. Zamora, *Chem. Commun.*, **2015**, *51*, 14306-14309. (b) K. Hassanein, J. Conesa-Egea, S. Delgado, O. Castillo, S. Benmansour, J. I. Martínez, G. Abellán, C. J. Gómez-García, F. Zamora, y P. Amo-Ochoa, *Chem. Eur. J.* **2015**, *21*, 17282-17292 (c) M. Melzer, IK, Daniil; L., Gungun; Baunack, Stefan; Makarov, Denys; Schmidt, Oliver G. *Adv. Mater.*, **2015**, *27*, 8, 1306.

IUPAC INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY

IUPAC 100 LOGO Competition

Welcomes All to Submit Original Works of Design

- Eligibility** The competition is open to 3 categories: college and secondary and primary school students for all around the world.
- Deadline** 1 February 2017
- Judging** A panel of judges will select a shortlist of best designs; Shortlisted designs will be posted online for voting.
- Prize** The top entries and award will be noted in IUPAC magazine Chemistry International. The ultimate winning entry will be touched-up by a professional graphic designer and shared globally with all IUPAC member organizations and supporters to serve as the brand for the celebrations.
- How to Submit** Digital submission only
An online submission platform will be made available from iupac.org
Inquiry by email to iupac.100@iupac.org, with subject "iupac competition"