

Llega la electrónica biodegradable

Los nuevos aparatos electrónicos que incorporan dispositivos solubles en agua o en fluidos corporales presentan múltiples aplicaciones en el campo de la salud y en productos de consumo

Joan Carles Ambrojo

No existen aún productos comerciales basados en la electrónica transitoria, pero los investigadores han estado experimentando con diodos, fotodetectores, transistores, células solares y cámaras digitales que se desintegran en contacto con líquidos.

Hace un par de años, un equipo de ingenieros biomédicos de la Universidad de Tufts, en colaboración con investigadores de la Universidad de Illinois, crearon unos diminutos dispositivos electrónicos totalmente biocompatibles. Son una nueva clase de dispositivos formados por proteínas de la seda y silicio que promete una generación de implantes médicos que no necesitan ser extirpados, sistemas de control ambiental y aparatos de electrónica de consumo que, antes de quedarse obsoletos, pueden convertirse en abono en vez de basura.

En la electrónica transitoria, las extremadamente diminutas hojas de silicio donde reside la circuitería pueden disolverse completamente al sumergirse en biofluidos. Estos circuitos, también formados por componentes dieléctricos y conductores basados en magnesio y óxido de magnesio permiten construir múltiples tipos de componentes, sensores, sistemas de comunicaciones inalámbricas, foto detectores, células solares, cámaras y otros dispositivos. Pueden disolverse a voluntad, en segundos o días, según la configuración física y materiales utilizados en este tipo de dispositivos. Por ejemplo, ingenieros de la Universidad de Illinois ensayaron en ratas un implante para controlar posibles infecciones quirúrgicas durante un par de semanas. También crearon y probaron con éxito una cámara digital de 64 píxeles.

En el interior del cuerpo

En el ámbito de la salud humana, la electrónica transitoria no solo tiene aplicación externa, sobre la piel de un paciente, sino también en el interior del cuerpo humano. "Existen numerosas aplicaciones que implican la implantación de dispositivos, como los monitores cerebrales", explica a *Técnica Industrial* John A. Rogers, investigador de la Universidad de Illinois y pionero en la ingeniería de componentes electrónicos flexibles ultrafinos. "Estamos construyendo y probando dispositivos que tienen una utilidad poten-

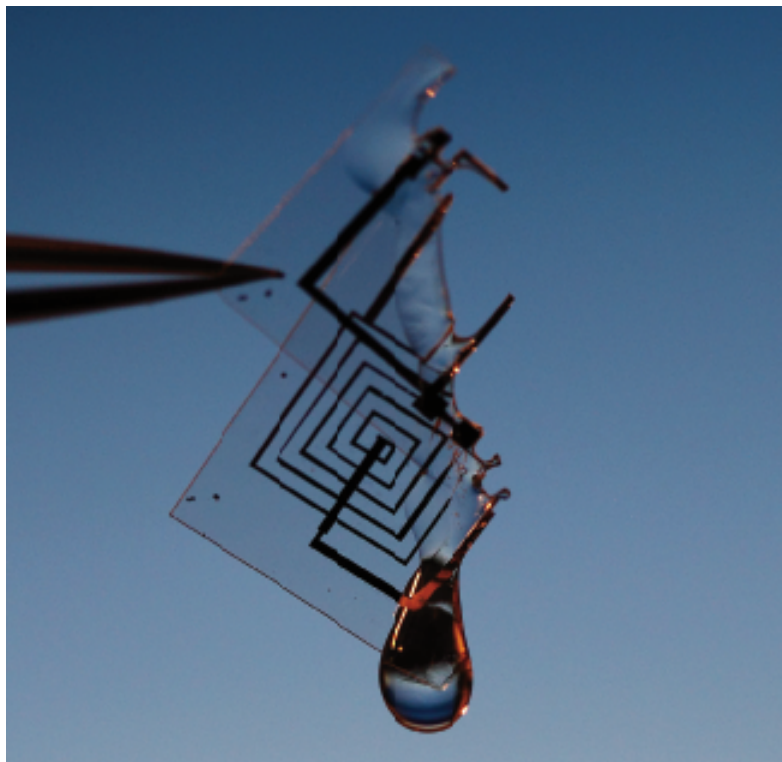


Foto: Beckman Institute, University of Illinois y Tufts University.

cial en la medicina clínica. Un ejemplo son los sensores de temperatura y presión intracraneal, aplicados en pacientes que han sufrido un daño traumático en el cerebro. Aparte, también trabajamos con electrónica

Con los nuevos dispositivos, formados por proteínas de la seda y el silicio, sería posible reducir considerablemente las inmensas montañas de basureros electrónicos

transitoria en productos con etiquetas RFID (de radiofrecuencia)", añade Rogers.

Los circuitos integrados convencionales se diseñan para mantener su estabilidad física y electrónica a largo plazo en condiciones ambientales severas. Por el contrario, los nuevos materiales que emplea la elec-

trónica transitoria deben permitir una rápida degradación en el tiempo prescrito al activarse el proceso de degradación, pero manteniendo el rendimiento hasta ese momento clave. Cada aplicación requiere un tiempo de funcionamiento distinto. Un implante quirúrgico puede ser necesario durante quince días; un aparato de consumo puede ser diseñado para desecharse al par de años.

Es una tecnología prometedora, pero antes de su generalización y aplicación comercial deberá superar una serie de retos. "El mayor desafío consiste en mantener una operación estable sobre el plazo [de funcionamiento] correspondiente, en dispositivos que finalmente se disuelvan. Es un reto manejable, pero encontramos que tiende a ser el área de foco principal en el desarrollo de cualquier nuevo tipo de dispositivo transitorio", concluye el investigador de Illinois. Porque controlar con precisión el proceso de disolución no solo depende del diseño

del dispositivo, sino también las condiciones del entorno en el que va a operar, que varían de una localización a otra en el cuerpo humano.

Obviamente, el área de la salud "es la que puede tener mayor aplicación, seguida de cerca por la electrónica verde", asegura Rogers. Un sensor ambiental, por ejemplo, puede recopilar información sobre el clima, para luego desaparecer tras una lluvia sin afectar al entorno.

La Agencia de Investigación de Proyectos Avanzados de Defensa (DARPA) de Estados Unidos financia gran parte de los trabajos de John Rogers, ya que está interesada en el desarrollo de dispositivos inteligentes y de comunicaciones que se autodestruyan a distancia antes de caer en manos del enemigo, por ejemplo. PARC, una compañía de Xerox, recibió de esta agencia 2 millones de dólares para aplicar su plataforma de electrónica biodegradable DUST, y en enero de 2014, BAE Systems también firmó otro contrato.

Aplicaciones medioambientales

Fuera del ámbito militar, PARC estudia desarrollar su plataforma para aplicaciones medioambientales: por ejemplo, distribuir grandes cantidades de diminutos sensores para controlar patrones del clima que permitan predecir huracanes o sutiles vibraciones que preceden a los terremotos y, posteriormente, ser retirados del entorno sin dejar ninguna huella residual. La investigación en estas partículas transitorias forma parte del desarrollo del Internet de las Cosas de PARC.

La empresa SRI también participa en el programa de DARPA desarrollando una tecnología CMOS aplicada a una batería que al activar la destrucción del sensor por radiofrecuencia no sea observable por el ser humano. El objetivo es construir sensores biodegradables para el control medioambiental y químico que funcionen durante 100 horas y se desvanezcan en solo 30 segundos. Por su parte, IBM desarrolla también un sistema que permita por radiofrecuencia activar un delgado revestimiento de vidrio que, una vez activado, convierta el chip en silicio en polvo.

Radios, sensores remotos y otros sofisticados sistemas electrónicos utilizados por los combatientes son omnipresentes en el campo de batalla y, a menudo, pueden ser capturados por el enemigo, reutilizados y comprometer la ventaja tecnológica. ¿Y si se desintegraran en el medio ambiente sin dejar huella o se inutilizaran de forma remota o por condiciones predeterminadas antes

de caer en manos enemigas? Puede garantizarlo la tecnología transitoria, bajo la premisa de mantener la funcionalidad y robustez de la electrónica convencional.

Esta agencia también está interesada en garantizar la salud de sus soldados, mediante sistemas de diagnóstico, tratamiento y control remotos. "La electrónica transitoria aplicada a la terapia antimicrobiana será un gran avance", afirma Alice Jackson, directora del programa en DARPA.

La disolución acuosa es solo uno de los métodos posibles de la electrónica biode-

gradable. En el futuro, los investigadores prevén dispositivos más complejos que podrían ser ajustables en tiempo real o sensibles a los cambios en su entorno, como la química, la luz o la presión. Algunos investigadores piensan que sería posible reducir considerablemente las inmensas montañas de basureros electrónicos, formadas por desde ordenadores hasta móviles, gracias a la electrónica transitoria. ¿Por qué no diseñar teléfonos móviles que se autodestruyan sin perjuicio del medio ambiente al cabo de un tiempo?, se preguntan.

Baterías comestibles

Uno de los obstáculos que tiene que afrontar la electrónica en el ámbito biomédico es cómo alimentar los dispositivos que se introducen en el cuerpo humano sin perjudicar la salud del paciente. Materiales convencionales como el litio no son nada seguros y deben ser encapsulados en fundas protectoras que, una vez han cumplido su función, acaban siendo extraídas quirúrgicamente. Investigadores de la Universidad Carnegie Mellon (CMU) han desarrollado prototipos de baterías biodegradables con pigmentos de melanina de la tinta de la sepia para el ánodo y óxido de manganeso como cátodo, según un trabajo publicado recientemente en *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Al cabo de un tiempo, estos elementos se descomponen en materiales no tóxicos. Sin embargo, la duración y rendimiento de estas baterías son todavía pequeños para muchos usos, pero sí para sensores muy sencillos. Christopher Bettinger, de la CMU, está tratando de solventar estas limitaciones.

El equipo de John Rogers, de la Universidad de Illinois, propone otra solución que parece mejorar las prestaciones de las baterías ingeribles y alimentar dispositivos más sofisticados. Recientemente ha presentado un dispositivo que supone un gran avance respecto a los anteriores hallazgos y que consiste en ánodos de magnesio y cátodos de hierro, molibdeno o tungsteno, metales cuyos iones son biocompatibles en bajas concentraciones, según publicaba *Nature*. El electrolito entre los dos electrodos es una solución salina tamponada con fosfato. El dispositivo está empaquetado en polianhídrido, un polímero biodegradable. Las corrientes y voltajes varían dependiendo del metal utilizado. Por ejemplo, una pequeña batería de 0,25 centímetros cuadrados con un ánodo de magnesio de un espesor de 50 micrómetros y un cátodo de 8 micrómetros podría proporcionar a un sensor inalámbrico 2,4 miliamperios de corriente durante un máximo de un día. A las tres semanas, el dispositivo se disuelve en el cuerpo y el magnesio liberado solo representaría 9 miligramos que, según los ensayos clínicos, no parece causar problemas. Estos dispositivos permitirán introducir fármacos que se liberarían directamente en el intestino o sistemas para monitorizar el cuerpo, la progresión de enfermedades, etc. "El método ideal de administrar fármacos", decía Bettinger a *Nature*, "es hacer llegar la dosis adecuada al área exacta a tratar, bien sea una rodilla con artritis o un tumor de pulmón". La empresa Proteus Digital Health dispone de pastillas para controlar la ingesta de fármacos con una especie de pila biogalvánica, que se activa en contacto con los iones del estómago.

