

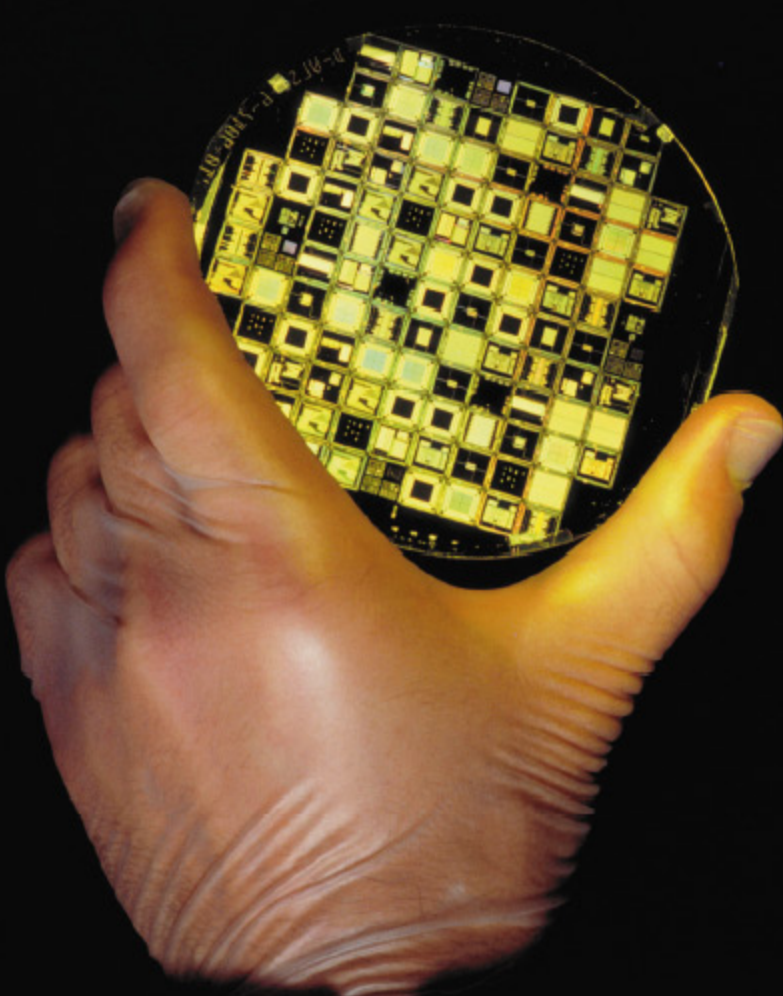
Desarrollos tecnológicos inspirados en los seres vivos

Autor: Claudio L. A. Berli

Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC, UNL-CONICET), Güemes 3450, 3000, Santa Fe, Argentina.

Departamento de Física, Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL, El Pozo, 3000, Santa Fe, Argentina

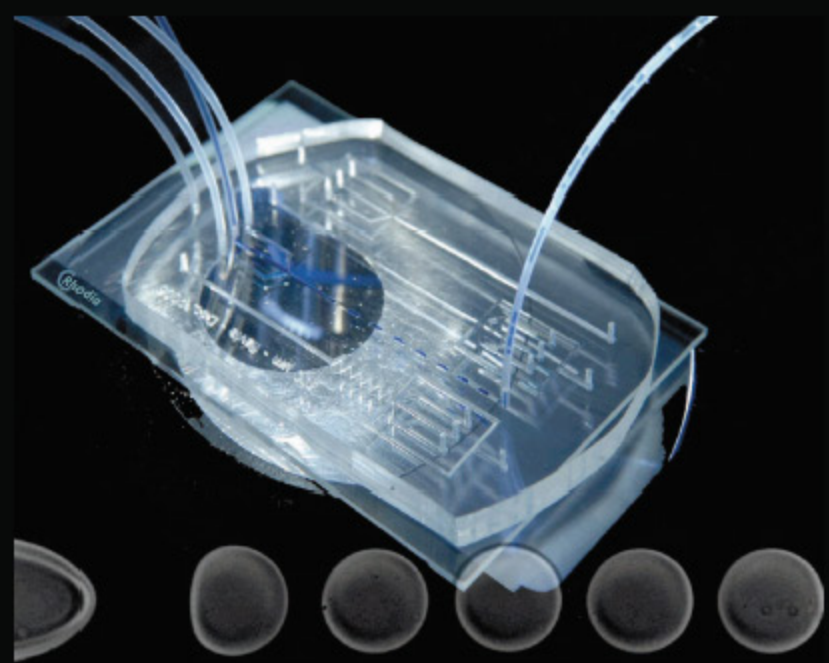
Correo electrónico: cberli@ceride.gov.ar



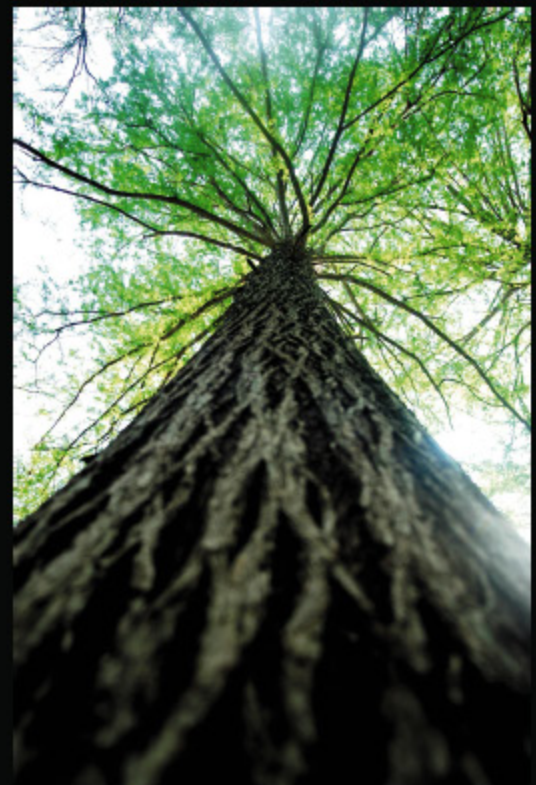
Desde hace medio millón de años, más o menos, el hombre fabrica herramientas para facilitar sus tareas. En la era moderna, luego de la revolución industrial, los dispositivos creados han ganado complejidad, pero en general mantuvieron un tamaño comparable al de nuestras propias manos o mayor en muchos casos. Sin embargo, en los últimos veinte años hemos sido testigos de progresos notables en la miniaturización de dispositivos eléctricos, mecánicos y fluidicos. Como ejemplo de cada uno, respectivamente, se pueden mencionar los microprocesadores electrónicos de los teléfonos celulares, los acelerómetros que activan las bolsas de aire de los automóviles, y los microinyectores de tinta utilizados en las impresoras. Estos desarrollos tecnológicos no son fortuitos, sino que están intrínsecamente ligados a la generación de nuevos conocimientos. Por ejemplo, la circulación de fluidos en sistemas microscópicos ocurre de maneras que no son usuales en el mundo macroscópico al cual estamos habituados. Este contexto dio origen a la microfluídica, una nueva disciplina científica que estudia la manipulación de fluidos en sistemas artificiales donde los canales, válvulas y orificios tienen diámetros menores a unos cien micrómetros.¹

Como se puede inferir de lo dicho anteriormente, los avances en microfluídica tienen una fuerte motivación tecnológica, donde se destaca la construcción de dispositivos miniaturizados para ensayos de laboratorio.² Estos microsistemas consisten básicamente en una red de microcanales integrados en una placa de unos pocos centímetros (chips),

donde se puede realizar, en principio, una serie de operaciones que normalmente involucran varios equipos en un laboratorio convencional. La principal fuerza impulsora de esta tecnología fue el ambicioso programa de decodificación del genoma humano. Al presente, los denominados "laboratorios en chips" están produciendo un gran impacto en áreas como la biotecnología, farmacología, medicina, bioquímica y química analítica, debido principalmente a la drástica reducción de los volúmenes de muestras y la duración de los ensayos. Asimismo, la portabilidad y automatización son ventajas muy apreciadas. Un desarrollo muy ilustrativo de esta perspectiva es el sensor de glucosa sanguínea para enfermos de diabetes, el cual se usa como un reloj. En este sentido, en el futuro inmediato los microsistemas de análisis permitirán prevenir enfermedades en poblaciones aisladas, monitorear contaminantes en zonas de riesgo, o controlar la calidad de productos alimenticios, en forma rápida y sin la necesidad de trasladar las muestras a los laboratorios centralizados. Un ejemplo muy relevante es el biosensor recientemente propuesto³ para detectar atrazina, un compuesto ampliamente utilizado como herbicida, pero que produce una contaminación persistente en el agua y actúa como disruptor endocrino en los animales y el hombre (este tema fue tratado en detalle en el último número de ECO⁴). Desde el punto de vista de diseño y fabricación, es preciso notar que la miniaturización no consiste simplemente en disminuir el tamaño del equipamiento convencional. En cambio, se trata de una nueva tecnología que se vale de las funcionalidades propias de la materia en las pequeñas dimensiones. Diversos fenómenos fisicoquímicos adquieren particular relevancia en la escala micrométrica, y son intensamente estudiados por la microfluídica y las disciplinas asociadas para aprovechar sus mecanismos.⁵ A manera de ejemplo se puede mencionar el fenómeno del ascenso capilar: cuando un tubo de vidrio de pequeño diámetro se sumerge en un vaso con agua, el líquido asciende por las paredes interiores formando un menisco a unos pocos milímetros por encima del nivel de agua en el vaso. Si el diámetro del tubo es de algunos micrómetros, el agua puede ascender varios metros de altura.⁶ Precisamente esta es la forma en la que las plantas transportan la savia desde las raíces hasta las hojas (más de treinta metros en algunos casos, sin ninguna "bomba" adicional).



Diversos Fenómenos Fisicoquímicos adquieren particular relevancia en la escala micrométrica



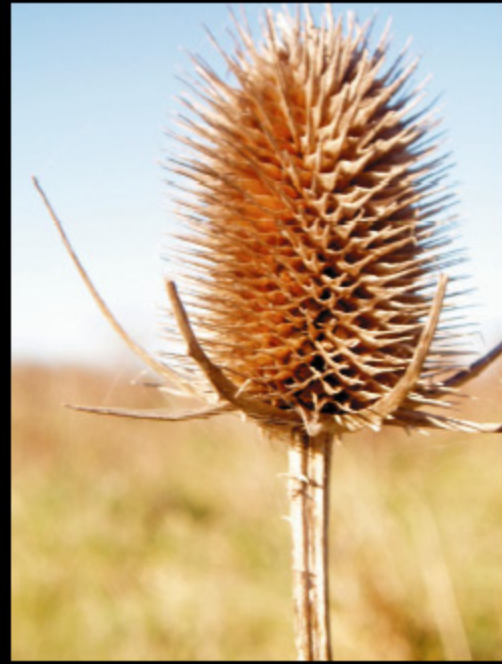
- 1-Un micrómetro es la milésima parte de un milímetro
- 2-G. M. Whitesides, *Nature*, 442, 368-373, 2006
- 3-E. Zacco *et al.*, *Biosensors and Bioelectronics*, 22, 1707-1715, 2007
- 4-S. M. Trossero, *ECO Ciencia & Naturaleza*, 2, 20-24, 2007
- 5-C. L. A. Berli, *Microfluidics and Nanofluidics*, 2007 (en prensa)
- 6-Las fuerzas de tensión superficial, responsables del fenómeno, están siempre presentes, pero cobran importancia cuando los canales son micrométricos.



***En tantos años de "prueba y error",
La naturaleza ha seleccionado
la mejor manera de realizar la tarea***

De modo que, en verdad, microfluídica es lo que la naturaleza ha estado haciendo durante los últimos tres mil millones de años. En la mayoría de los animales, por ejemplo, el transporte de oxígeno y nutrientes involucra la circulación controlada de soluciones acuosas a través de microcanales (arteriolas, capilares, vénulas). En tantos años de "prueba y error", la naturaleza ha seleccionado la mejor manera de realizar la tarea: el árbol vascular, que va desde el corazón hasta los capilares, se ramifica mediante bifurcaciones donde cada canal se divide en dos canales "hijos", cuyo diámetro guarda una precisa relación con el diámetro del canal "madre". Esta relación, conocida como ley de Murray, es la que permite a los organismos realizar el menor trabajo posible, y por lo tanto el menor gasto de energía para el transporte de líquidos. Por esta razón, y a partir de este conocimiento, los chips de microfluídica que incorporan estructuras ramificadas de canales se diseñan y construyen sobre la base de la ley de Murray.⁷ Recíprocamente, la posibilidad de fabricar microdispositivos y luego experimentar con ellos aporta conocimientos para interpretar mejor las bases físicas que están detrás los mecanismos biológicos.

Es oportuno mencionar aquí que la imitación de formas y funciones naturales para solucionar problemas tecnológicos constituye el ámbito de estudio de la biomimética. Esta disciplina se encarga de caracterizar y ordenar una gran cantidad de soluciones eficientes que la naturaleza ha desarrollado durante millones de años de evolución. Las aplicaciones van desde el sistema de ganchos de las semillas utilizado en el velcro hasta las redes neuronales usadas en informática. Regresando a la microfluídica, otro sistema interesante de diseño biomimético es el mecanismo de extracción de sangre acoplado a los chips para diagnóstico médico. Un prototipo desarrollado recientemente⁸ utiliza una micro-aguja de titanio del mismo tamaño que el "labio" del mosquito hembra,⁹ e imita además la fuerza necesaria para insertar la aguja, la presión de succión y el mecanismo de control general. En efecto, los mosquitos tienen un sistema de extracción de sangre miniaturizado, rápido, altamente eficiente y que (a veces) no causa dolor.



7-D. R. Emerson *et al.*, *Lab on a Chip*, 6, 447-454, 2006

8-K. Tsuchiya *et al.*, *Biomedical Microdevices*, 7, 347-353, 2005

9-La proboscis del mosquito es en general bastante más compleja y especializada, pues contiene un par de cortadores aserrados, más otro microcanal para inyectar anestesia y anticoagulante.

En fin, la lista de microdispositivos inspirados en los seres vivos es extensa. Para concluir se puede citar un ejemplo de interés en ingeniería de materiales. Si uno desea diseñar y fabricar un microreactor para sintetizar hilos muy delgados (de unos pocos micrómetros de espesor) y altamente resistentes, bien vale la pena prestar atención a una "patente" disponible en la naturaleza: el precioso hilado que realizan las arañas con las glándulas de su abdomen. En otras palabras, la optimización que ha logrado la naturaleza en sus procesos a lo largo de millones de años es una información que no puede ignorarse. Más aún, para el desafío de lograr desarrollos tecnológicos eficientes en la escala micrométrica, imitar el diseño de estructuras y funciones biológicas tal vez sea, en muchos casos, lo más sensato que uno pueda hacer.



la optimización que ha logrado la naturaleza en sus procesos a lo largo de millones de años es una información que no puede ignorarse

Del Autor



Claudio Berli

El autor es Bioquímico (Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL) y Doctor en Tecnología Química (Facultad de Ingeniería Química, UNL). Realizó su trabajo posdoctoral en la Universidad de Paris, en un laboratorio dependiente del Centro Nacional de Investigación Científica (CNRS), Francia. Actualmente es miembro de la Carrera del Investigador Científico del CONICET, con lugar de trabajo en el Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), Santa Fe, y es además docente del Departamento de Física de la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL.

Su tema de investigación comprende el análisis teórico y modelado del transporte de fluidos en la micro-escala, fenómenos fisicoquímicos en interfaces y coloides. Al presente, su objeto de estudio son los dispositivos fluidicos y electro-mecánicos miniaturizados, para ser utilizados en diversas aplicaciones tecnológicas, principalmente como sensores. Sus últimas publicaciones científicas se refieren a modelos matemáticos para la manipulación de fluidos en redes de microcanales, donde el flujo es inducido y controlado mediante la aplicación de campos eléctricos.