

Nota de actualidad

Tecnologías sostenibles: dispositivos microfluídicos

Juan Valderrama¹

En parte, la ingeniería ambiental tiene que ver con el diseño de soluciones viables a problemas relacionados con el uso inadecuado de los recursos naturales. Este uso inadecuado se presenta en situaciones como la sobreexplotación o los daños generados por la descarga indiscriminada de sustancias nocivas para el medio ambiente. En cualquiera de los dos casos, nuestra capacidad para medir y cuantificar los daños determina en gran medida la efectividad de las posibles soluciones. Es así que los ingenieros ambientales necesitan apoyarse frecuentemente en herramientas químicas que les permitan analizar el entorno en busca de las causas primarias de este tipo de problemáticas.

Las técnicas de análisis químico son, generalmente, pruebas estandarizadas que nos permiten detectar y cuantificar una sustancia específica diluida en algún sustrato. Teniendo en cuenta que la mayor parte del entrenamiento de los ingenieros ambientales apunta al cuidado del recurso hídrico, el sustrato más importante para ellos es el agua. Sin embargo, el análisis químico del agua puede ser costoso y requiere espacios de laboratorio adecuados, material de vidrio, reactivos y equipos como espectrofotómetros y cromatógrafos. En general, es una tarea que demanda recursos económicos considerables y capital humano especializado.

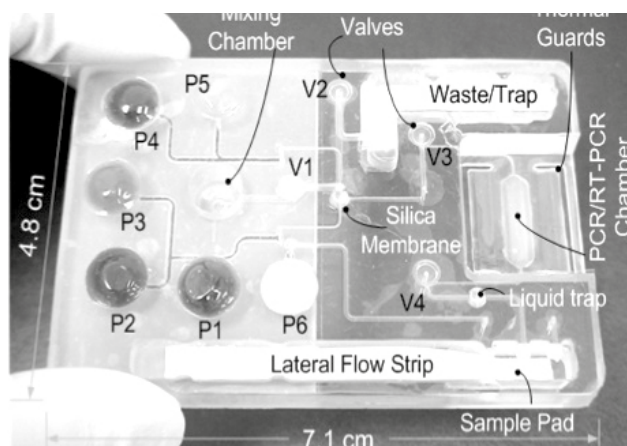
Teniendo en cuenta lo anterior, es natural que muchos esfuerzos se concentren no solo en

minimizar los costos de los análisis, sino también en hacerlos portátiles, de manera que las pruebas se puedan hacer *in situ* para no alterar las muestras que se quieren analizar. Dentro de este contexto, el desarrollo de montajes miniaturizados ha permitido avanzar en estos dos objetivos simultáneamente. En particular, los dispositivos microfluídicos son como pequeños laboratorios que se pueden guardar en un bolsillo. Aquí, los recipientes son reemplazados por compartimentos con volúmenes del orden de microlitros o nanolitros y la manipulación de las muestras y reactivos (líquidos por lo general) se logra mediante tuberías con diámetros inferiores a un milímetro.

Esta reducción dramática de tamaño necesariamente implica un bajo consumo de reactivos y una reducción de costos considerable. También, ha dado lugar a la tendencia *lab on a chip*, haciendo una analogía con los *chips* electrónicos, donde toda la infraestructura para llevar a cabo millones de operaciones lógicas se concentra en dispositivos de tamaño inferior a un centímetro cuadrado. Esto se hace evidente en la Figura 1, donde se presenta un dispositivo microfluídico para el análisis de ácidos nucleicos, desarrollado por investigadores de la Universidad de Pensilvania. Es importante notar cómo todo el esquema de tuberías, válvulas y reactores se acomoda sin problema en un dispositivo de apenas 35 centímetros cuadrados.

¹ PhD. Docente Investigador Facultad de Ingeniería Ambiental.

Figura 1. Ejemplo de dispositivo microfluídico para análisis de ácidos nucleicos.

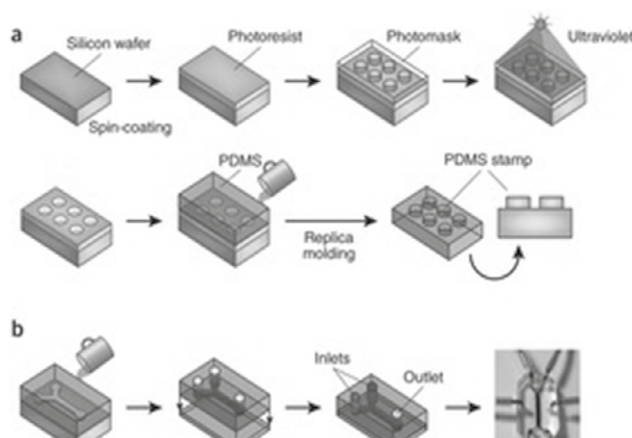


Fuente: *Micro and Nano Fluidics Lab*²

A pesar de todas las ventajas y avances logrados en microfluídica, su implementación todavía es limitada debido a las dificultades en la manufactura de estos dispositivos. Existen varios materiales comúnmente usados en microfluídica, como el vidrio y la sílica, pero el material más usado en la actualidad es probablemente el PDMS (Polydimetilsiloxano), el cual es un polímero que se prepara en el mismo momento de montar el dispositivo. La Figura 2 resume el proceso: en la parte a) se describe la fabricación del molde maestro o master, el cual debe ser de un material

rígido y durable. El proceso que se muestra es denominado fotolitografía y permite “estampar” esquemas tridimensionales sobre la “galleta de silicio”, *silicon wafer*, los cuales pueden ser de dimensiones microscópicas. Una vez estampado el master, se vierte la solución precursora del PDMS sobre este. Todo lo que tiene relieve en el master aparecerá como una hendidura en el PDMS solidificado, de manera similar a lo que sucede con un molde de gelatina. De esta manera, de un solo master, se pueden generar muchos dispositivos microfluídicos hechos de PDMS.

Figura 2. Proceso de fabricación de master y moldeo de dispositivos en PDMS.

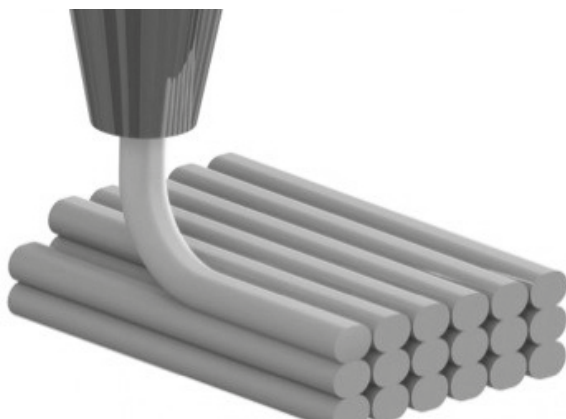


Fuente: *Bhatia & Ingber (2014)*.

² Recuperado de: <https://bau.seas.upenn.edu/research/point-of-care-diagnostics-lab-on-chip/>

Desafortunadamente, las técnicas de fabricación de estos master requieren tecnología e instalaciones similares a las usadas en la construcción de microprocesadores, razón por la cual el proceso resulta costoso. Es por esto que muchos estudios están explorando las técnicas de impresión en 3D como posible reemplazo de la tecnología basada en PDMS moldeado por master. La aparición de equipos de bajo costo para impresión en 3D ha promovido el incremento de publicaciones sobre dispositivos microfluídicos basados en esta tecnología. De hecho, los equipos de impresión basados en deposición de polímeros fundidos (los más económicos) son lo suficientemente versátiles para muchas de estas aplicaciones.

Figura 3. Esquema de moldeo por deposición de polímero fundido.



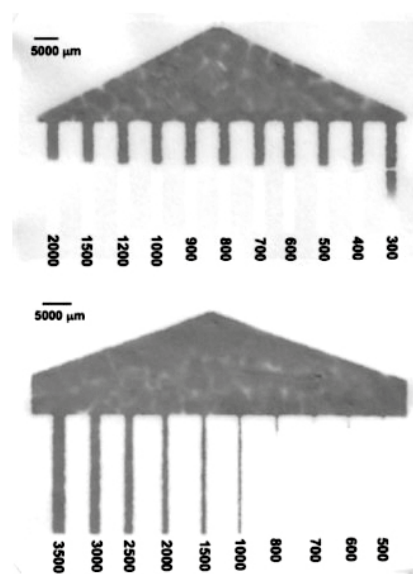
Fuente: adaptación de *A guide to FDM printable plastics and 3D printing filament*.

Como se presenta en la Figura 3, un inyector permite el paso de un polímero fundido, el cual se va depositando y solidificando sobre una superficie. En este orden de ideas, el dispositivo microfluídico fabricado estará compuesto por miles de fibras de polímero acomodadas unas sobre otras. En general, el proceso arranca con el diseño tridimensional usando *software* tipo CAD (*Computer Assisted Design*), para que luego un segundo *software* interprete el diseño inicial y lo convierta en una estructura basada totalmente en estos hilos de polímero. Gracias a esta técnica, se han desarrollado dispositivos con

electrodos para análisis de tejidos y detección de bacterias patógenas (Au *et al.*, 2016).

Continuando con la tendencia de reducción de costos, lo más reciente es la fabricación de dispositivos microfluídicos basados en papel. En este caso, lo que se aprovecha es la capacidad capilar del papel, la cual permite el flujo de líquidos sin la necesidad de un dispositivo de bombeo externo. El desafío aquí consiste en confinar el flujo de tal manera que el líquido se dirija únicamente a las zonas deseadas. Esto se consigue mediante el estampado de cera sobre el papel. La cera es una sustancia altamente hidrofóbica que permite impermeabilizar el papel, limitando el espacio donde se puede presentar capilaridad. El estampado con cera puede ser tan sencillo como dibujar con un crayón o tan sofisticado como la deposición de cera caliente usando tecnología de inyección por burbuja (como en las impresoras domésticas). Una técnica recientemente desarrollada usa el estampado tipo *screen* para “dibujar” con cera los canales de un dispositivo microfluídico (Samee *et al.*, 2014), como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Dispositivos con canales de cera estampados sobre papel (la cera impide que el líquido rosado circule por la capilaridad hacia toda la hoja y lo confina dentro de los canales).



Fuente: adaptado de Chung *et al.* (1989).

Gracias a estas tecnologías recientes, es posible que seamos partícipes de una popularización importante de los dispositivos microfluídicos. En el caso de la ingeniería ambiental, ya existen dispositivos que permiten medir pH (Smyth *et al.*, 2008), analizar la dureza del agua (concentración de Ca^{+2} y Mg^{+2}) (Karita & Kaneta, 2016), medir la alcalinidad (Karita & Kaneta, 2014) y detectar coliformes (Stokes *et al.*, 2001).

En conclusión, los últimos avances en tecnologías de bajo costo para la fabricación de dispositivos microfluídicos están abriendo posibilidades muy interesantes en el campo del monitoreo ambiental. De los investigadores locales dependerá en gran parte que esta revolución llegue pronto a nuestro país.

Referencias

- 3Devo. (2015). *The FDM technology - One Step Closer To The Future*. Recuperado de: <http://3devo.eu/guide-fdm-printable-plastics-3d-printing-filament/>
- Au, A.K., Huynh, W., Horowitz, L.F. & Folch, A. (2016). 3D-printed microfluidics. *Angewandte Chemie*, 55(12), pp. 3862-3881.
- Bhatia, S.N. & Ingber, D.E. (2014). Microfluidic organs on chips. *Nature biotechnology*, 32(8), pp. 760-772.
- Chung, C.T., Niemela, S.L. & Miller, R.H. (1989). One-step preparation of competent *Escherichia coli*: transformation and storage of bacterial cells in the same solution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 86(7), pp. 2172-2175.
- Karita, S. & Kaneta, T. (2014). Acid-Base Titrations Using Microfluidic Paper-Based analytical devices. *Analytical Chemistry*, 86(24), pp. 12108-12114.
- Karita, S. & Kaneta, T. (2016). Chelate titrations of Ca^{2+} and Mg^{2+} using microfluidic paper-based analytical devices. *Analytica Chimica Acta*, 924, pp. 60-67.
- Micro and Nano Fluidics Lab. (s.f.). *Point of care diagnostics (Lab on chip)*. Recuperado de: <https://bau.seas.upenn.edu/research/point-of-care-diagnostics-lab-on-chip/>
- Sameenoi, Y., Nongkai, S., Nouantavong, S., Henry C.S. & Nacapricha, D. (2014). One-step polymer screen-printing for microfluidic paper-based analytical device (μ PAD) fabrication. *Analyst*, 139(24), pp. 6580-6588.
- Smyth, C., Lau, K.T., Shepherd, R.L., Diamond, D., Wu, Y., Spinks, G.M. & Wallace, G.G. (2008). Self-maintained colorimetric acid/base sensor using polypyrrole actuator. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 129(2), pp. 518-524.
- Stokes, D.L., Griffin, G.D. & Vo-Dinh, T. (2001). Detection of *E.coli* using a microfluidics-based antibody biochip detection system. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 369(3-4), pp. 295-301.