



El gran mundo de la tecnología miniatura

Dulce K. Becerra-Paniagua*, Carina Chávez Granados*, Laura Oropeza-Ramos*
 ORCID 0000-0002-7311-3204

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.124-2>

* Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
 Contacto: dkbp@ier.unam.mx, carinahalley0@gmail.com, loropeza@unam.mx

Muchos de nosotros hemos escuchado la palabra microtecnología quizá en anuncios publicitarios de ropa, cosméticos, alimentos, electrodomésticos, medicamentos, entre otros. El prefijo *micro* proviene del vocablo griego “μικρός” (*mikros*) que significa pequeño, por lo tanto, su concepto se refiere a la tecnología que nos permite construir sensores, actuadores y electrónica con elementos que están en el límite de lo que podemos ver a simple vista. El término micrómetro, también llamado micrón o micra, es una unidad de longitud equivalente a una millonésima parte de un metro, es decir, tiene un valor de 10^{-6} metros, igual a 1 micra (μm). Por ejemplo, el diámetro de un cabello humano mide alrededor de 80 micras, y la *E. coli*, una de las bacterias más conocidas que vive en el intestino humano, mide aproximadamente 0.5 micras de diámetro por 2 de largo; el tamaño de las células sanguíneas oscila entre 5 y 20 micras (Barhoum *et al.*, 2022). Éstas son las escalas en las que se encuentra la microtecnología (figura 1) y pueden observarse mediante un microscopio óptico convencional.

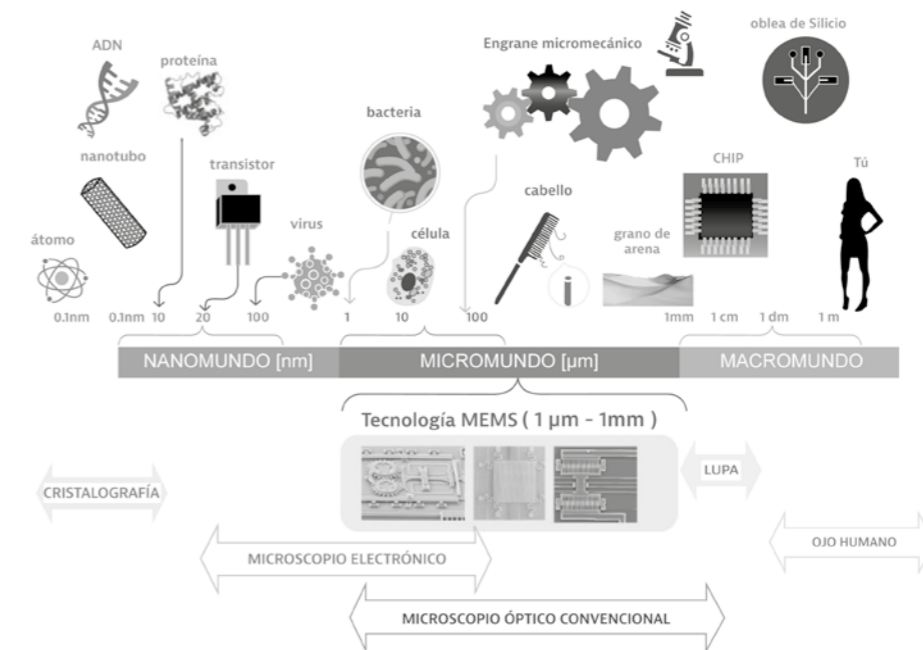


Figura 1. Un vistazo al universo micrométrico.

INICIOS DE LA MICROTECNOLOGÍA

La microtecnología tiene su antecedente a partir de la revolución electrónica, la cual surgió por los avances en la tecnología de semiconductores que se hicieron a inicios de la década de los cincuenta. En particular, por la invención del primer transistor patentado en 1948 por los estadounidenses Walter Houser Brattain, John Bardeen y William

Shockley de los Laboratorios Bell-Centro de Investigación de la compañía AT&T; éste consistía en una fracción de germanio (elemento químico semiconductor) con tiras.

El invento sentó las bases de la microelectrónica y mejoró en gran medida los bulbos de vacío como elementos de control, generación y amplificación de señales eléctricas. Estos científicos recibieron el Premio Nobel de Física en 1956 y los sucesores de este primer avance revolucionaron la microtecnología (Arns, 1998).

Años más tarde se desarrolló con éxito otra histórica invención que consistió en el primer circuito integrado (CI) con base en semiconductores, patentado en 1959 por el ingeniero Jack S. Kilby, en Texas Instruments, que consistía de transistores, resistencias y condensadores (Kilby, 2000). La apariencia del circuito era tan diminuta que lo apodaron como se les conocen a las astillas o a los "pedacitos de algo" en inglés: *chip*. No fue sino hasta 2000 que Kilby fue galardonado con el Premio Nobel de Física, ya que a menudo el reconocimiento a las hazañas de ingeniería es tardío o controversial (Madou, 2011). Los CI vendidos en 1960 sólo poseían ciertos dispositivos por *chip* y medían unos cuantos milímetros. Ahora un CI típico tiene miles de millones de instrumentos de este tipo y alcanzan dimensiones de nanómetros (Saxena, 2009).

SEMICONDUCTORES Y LA ELECTRÓNICA

Es importante mencionar que hoy en día el semiconductor más utilizado en la industria es el silicio (Si), uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre, representando 27.7% de su totalidad (RCS, 2023). Los semiconductores comúnmente son usados por su capacidad de comportarse como aislantes o conductores (impidiendo o permitiendo el paso de una corriente eléctrica). Esta capacidad facilitó el surgimiento del transistor, la estrella de las operaciones electrónicas que ayuda a controlar el flujo de electrones. Los transistores han contribuido así al diseño de circuitos de tamaño reducido, ya que, usados en conjunto, sirven para calcular datos y procesar información. Es por ello que se encuentran en todos los equipos y plataformas tecnológicas: computadoras, celulares y televisiones, que a su vez confieren el acceso a redes sociales vinculadas a Internet (Facebook, Instagram, WhatsApp, Telegram, Twitter, etcétera), a contenidos en plataformas: HBO, Netflix, Prime, entre otros. En pocas palabras, sin el transistor el Internet no existiría, por eso se le considera el invento más importante del siglo XX.

Los transistores se encuentran dentro de todos los *chips* que hacen más fácil, cómoda y sencilla la tecnología actual, desde electrodomésticos, automóviles, hasta naves espaciales, tarjetas bancarias, entre otros. Un *chip* es un paquete de mecanismos microelectrónicos incorporados en una única pieza de un semiconductor que trabajan

en conjunto para ejecutar una tarea específica o una serie de éstas. Los actuales tienen un tamaño de unas cuantas decenas de milímetros cuadrados y están compuestos por miles de millones de transistores, ¿te imaginas el tamaño de éstos?, es decir, no los podemos ver a simple vista, ni con un microscopio óptico convencional. Los más pequeños miden decenas de nanómetros, ¡del tamaño de un virus o una proteína! (figura 1).

MICROSISTEMAS ELECTROMECAÑICOS (MEMS)

Los microsistemas electromecánicos (MEMS, por su acrónimo en inglés) son pequeños aparatos (a escala microscópica) que combinan componentes mecánicos y eléctricos. Se fabrican utilizando técnicas compartidas con las empleadas para producir lotes de circuitos integrados, y pueden variar en tamaño desde unos pocos micrómetros hasta milímetros. Éstos tienen la capacidad de detectar, controlar y accionar señales en la escala micro, y generar efectos en la macro (la nuestra) (Zhu *et al.*, 2020).

Los MEMS consisten principalmente de un conjunto de microsensores y microactuadores incorporados en el mismo chip de Si. Ambos componentes se clasifican como transductores que convierten la energía de una forma a otra, por ejemplo, eléctrica en mecánica. Esta transducción puede servir para detectar características físicas o ambientales: presión, temperatura, aceleración, vibración, etcétera, y la reportan como una variable eléctrica: voltaje (sensores). O bien, transforman un tipo de energía en otra para generar una acción, que por lo común es movimiento (actuadores).

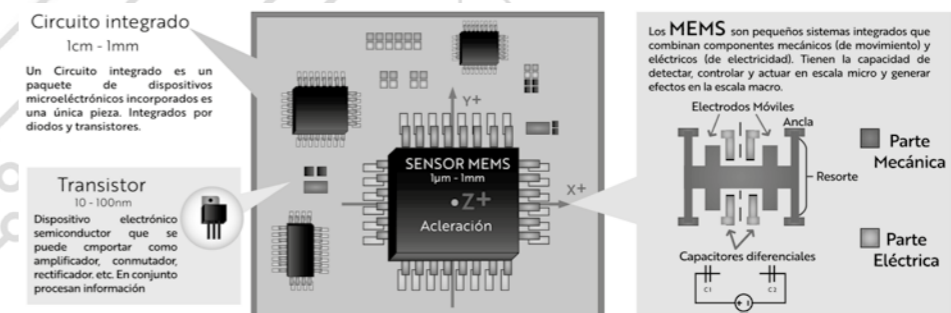


Figura 2. Infografía sobre transistor, circuito integrado y dispositivo MEMS (acelerómetro).

MINIATURIZANDO POR MEDIO DE LUZ

En las industrias de los circuitos integrados y de la tecnología MEMS se miniaturizan los componentes a tamaños asombrosamente pequeños mediante el proceso denominado fotolitografía. Esta palabra proviene del griego *photo* (luz), *lithos* (piedra) y *gráphein* (escribir), que signifi-

ca grabar con luz en la piedra, en este caso en una pieza de un semiconductor (Madou, 2011). Así, hablamos de un proceso que usa luz para definir patrones muy precisos en una superficie.

La producción de MEMS comparte técnicas convencionales de fabricación de circuitos integrados como la fotolitografía, deposición de películas y grabado de materiales o micromaquinado (figura 3a) que permiten definir estructuras 2D y 3D.

El proceso de fotolitografía involucra un conjunto de pasos consecutivos, pero en términos generales consiste en la transferencia de un patrón geométrico a una resina fotosensible depositada sobre una oblea o sustrato de semiconductor, por medio de la exposición selectiva de luz. Ésta se logra irradiando luz vía una máscara que tiene definido el diseño del circuito integrado o del MEMS mediante partes opacas que bloquean la luz y sectores transparentes que la dejan pasar (figura 3b).

Los trazos definidos de esta manera en la máscara permiten delimitar los elementos que componen al MEMS, por ejemplo, las zonas que conforman los microsensores, microactuadores, transistores, sus interconexiones, entre otras. Este proceso utiliza luz para transferir un patrón geométrico de una fotomáscara a una resina química fotosensible (es decir, sus propiedades cambian al ser irradiadas por luz) depositada en el sustrato. Luego, una serie de tratamientos químicos graba el patrón de exposición en éste (Madou, 2011). La fotolitografía comparte algunos principios fundamentales con el revelado de fotografías antiguas, en el cual la formación de la imagen “positiva” se realiza a partir de irradiar luz sobre los “negativos” (rollo fotográfico) que se va a proyectar a su vez en el papel (el cual es celulosa con un recubrimiento fotosensible a base de plata), para que después de un proceso químico de revelado la imagen se registre en color o en blanco y negro.

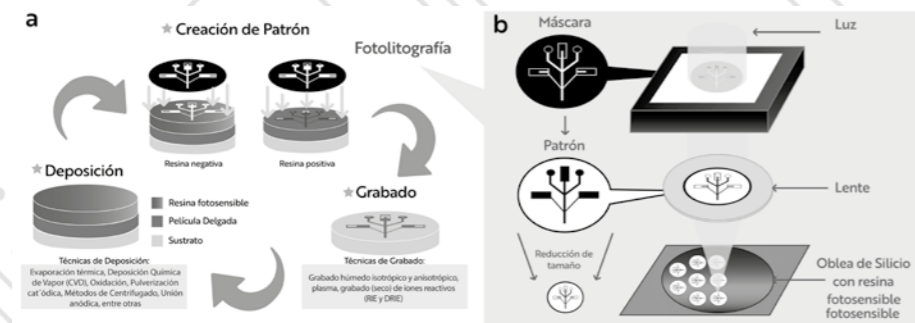


Figura 3. Diagrama básico de flujo de fabricación de MEMS (izquierda) y proceso de Fotolitografía (derecha).

MEMS EN TU TELÉFONO INTELIGENTE

¿Alguna vez te has preguntado cómo tu celular puede detectar el movimiento cuando lo estás mirando horizontal o vertical, y girar la pantalla en forma automática? Los acelerómetros son un tipo de microsensores MEMS que se encuentran en él, y permiten al usuario ajustar la orientación de la pantalla según la posición del dispositivo. Probablemente estés familiarizado con las palabras “acelerar” para describir algo que se desplaza cada vez más rápido, o “desacelerar”, cuando avanza más lentamente (Finio, 2019). La aceleración se determina por la segunda ley de Newton, que vincula fuerza, masa y aceleración, ese decir, $aceleración = fuerza/masa$. Entonces, la aceleración es proporcional a la cantidad de fuerza que necesitamos para mover un objeto.

El acelerómetro que se encuentra en tu teléfono inteligente detecta el movimiento en línea recta del equipo. Este tipo de aparatos contienen acelerómetros incorporados y tienen una estructura interna parecida a la que aparece en la figura 4. Cuentan con una masa móvil, que es un esquema en forma de H, con placas de sensado capacitivo que se extienden desde ella. La masa es móvil ya que está suspendida por vigas que hacen la función de resortes y que se ajustan al sustrato en ambos extremos, lo que le permite realizar una especie de vaivén. Los electrodos son estructuras fijas en el sustrato y permanecen estáticas, a diferencia de la masa móvil que se sacude con el ajeteo. La masa móvil y las terminales juntas forman un cuerpo similar a un peine o capacitor de placas paralelas que se utiliza para detectar el cambio. En un teléfono inteligente, el acelerómetro se mueve junto con el aparato en el que está instalado. La masa de prueba del acelerómetro se desliza cuando el armazón se desplaza a su alrededor. Esta mudanza depende de cuánto se incline o gire el equipo.

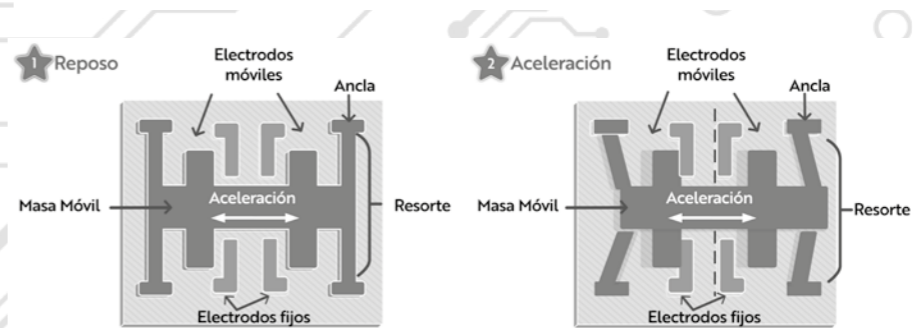


Figura 4. Estructura interna de un acelerómetro MEMS en un teléfono inteligente.

Hoy en día se utiliza una gran cantidad de MEMS dentro de teléfonos, relojes inteligentes, proyectores y monitores de actividad física, entre otros. Éstos son los responsables de conceder la inteligencia a este tipo de artefactos, ya que los sensores adquieren información del ambiente y los elementos en el *chip* la procesan. Por lo tanto, un sistema completo consiste en la electrónica integrada que proporciona la parte pensante, mientras que los componentes MEMS complementan esta inteligencia con funciones activas de percepción y control.

CONCLUSIONES

Los microsistemas MEMS son una tecnología emergente que ha logrado transformar los sistemas mecánicos y electromecánicos grandes tradicionales en dispositivos miniatura que permiten mejorar el rendimiento de los consumibles electrónicos. Ya que combinan sus capacidades de recoger información del ambiente y procesarla mediante circuitos integrados, desarrollando así herramientas portátiles que consumen menos energía, y más importante, reducen los costos ya que sus métodos de fabricación son escalables a nivel industrial, semejante a lo que las tecnologías de circuitos integrados y semiconductores han hecho con los sistemas electrónicos. El impacto de la tecnología miniatura ha sido tal, que hoy en día existen más teléfonos inteligentes que personas en el mundo (Richter, 2023).

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico-Universidad Nacional Autónoma de México (DGAPA-UNAM) por la beca posdoctoral otorgada a Dulce K. Becerra-Paniagua, y por el proyecto PAPIIT IT10092.

REFERENCIAS

Arns, R.G. (1998). The other transistor: early history of the metal-oxide semiconductor field-effect transistor. *Engineering Science & Education Journal*, 7, 233-240. <https://doi.org/10.1049/esej:19980509>

Barhoum, A., García-Betancourt, M.L., Jeevanandam, *et al.* (2022). Review on Natural, Incidental, Bioinspired, and Engineered Nanomaterials: History, Definitions, Classifications, Synthesis, Properties, Market, Toxicities, Risks, and Regulations. *Nanomaterials*, 12, 177. <https://doi.org/10.3390/nano12020177>

Finio, S.B., Ben. (2019). Science with a Smartphone: Accelerometer. *Scientific American*. <https://www.scientificamerican.com/article/science-with-a-smartphone-accelerometer>

Kilby, J.S. (2000). The integrated circuit's early history. *Proceedings of the IEEE*, 88(1), 109-111.

Madou, M.J. (2011). Fundamentals of Microfabrication and nanotechnology, volume I, "Solid-State Physics, Fluidics, and Analytical Techniques in Micro-and Nanotechnology". In *CRC PRESS Taylor & Francis Group* (Vol. 1, Issue 1).

RSC-Royal Society of Chemistry, (2023). *Periodic Table*. <https://www.rsc.org/periodic-table/element/14/silicon>

Richter, F. (2023). More Phones Than Persons. *Statista*. <https://www.statista.com/chart/4022/mobile-subscriptions-and-world-population/>

Saxena, A.N. (2009). Invention of integrated circuits: untold important facts. *World Scientific*. <https://doi.org/10.1142/6850>

Zhu, J., Liu, X., Shi, Q., *et al.* (2020). Development Trends and Perspectives of Future Sensors and MEMS/NEMS. *Micromachines*. 11(1), 7. <https://doi.org/10.3390/mi11010007>

Recibido: 27/11/2022.
Aceptado: 13/09/2023.

Descarga aquí nuestra versión digital.

