

Capítulo 106

Y yo quiero ser... Nanotecnólogo

(Por José Miguel García-Martín)

Durante la segunda guerra mundial y los posteriores años de guerra fría, la ciencia ficción experimentó una época dorada. En sus diversas manifestaciones (cómic, literatura y cine), se convirtió en una poderosa herramienta para plasmar las esperanzas y los miedos asociados al desarrollo tecnológico en una época de grandes transformaciones. La miniaturización fue uno de los temas que más calado tuvieron, sobre todo a partir de la novela "El hombre menguante" de Richard Matheson, publicada en 1956, de su adaptación cinematográfica por Jack Arnold un año después, y de la película "Viaje alucinante" de Richard Fleischer en 1966, que también dio pie a un libro de igual título de Isaac Asimov. Fue así, con la ciencia ficción de la era dorada, como empecé a entusiasmarme en mi adolescencia a finales de los años ochenta con la idea de trabajar con objetos a una escala minúscula. Y no sería hasta unos años después, cuando ya estudiaba Ciencias Físicas en la Universidad Complutense, que conocí la Conferencia visionaria que impartió Richard Feynman a finales de 1959: "Hay mucho sitio al fondo" [1]. En ella, el físico estadounidense ya anticipaba la manipulación atómica ("arrange the atoms the way we want"), discutía el almacenamiento en la nanoescala proponiendo guardar los 24 tomos de la Enciclopedia Británica en un objeto del tamaño de la cabeza de un alfiler, e incluso apuntaba la posibilidad de emplear nanodispositivos para la medicina ("swallow the surgeon"). Inauguraba así, de forma ilusionante, la nanotecnología, es decir, el diseño, la fabricación y la aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas mediante el control de la forma, el tamaño y la composición a escala nanométrica.

Cabe preguntarse si la nanotecnología es un nuevo campo del conocimiento. En la naturaleza podemos encontrar ejemplos de nanoentidades que juegan un papel importante en la adaptación de especies a su entorno, como por ejemplo sucede en las alas de las cigarras, que están formadas por nanopilares (de proteínas, quitina y ceras) que le confieren dos importantes propiedades: hidrofobicidad y efecto antibacteriano [2]. Y el ser humano lleva cientos de años produciendo materiales en los que nanoobjetos provocan interesantes propiedades, como sucede en las cerámicas fabricadas en Persia en el siglo X durante la Dinastía Abasí, que presentan un efecto iridiscente producido por nanopartículas de plata precipitadas durante el proceso de cocción [3]. Sin embargo, lo que ha sucedido en las últimas décadas es que se han desarrollado herramientas que permiten visualizar esos objetos en la nanoescala, comprender los fenómenos a que dan lugar, y por último fabricarlos de forma controlada para optimizar la propiedad deseada. La nanotecnología ha sido posible gracias a los avances instrumentales, por lo que el nanotecnólogo debe seguirlos de cerca.

Los nanoobjetos pueden analizarse gracias a los microscopios electrónicos, desarrollados desde finales de los años 20 del siglo pasado, y los microscopios de sonda de barrido o SPM, surgidos en los años 80 [4]. Entre los primeros hay que distinguir entre los microscopios electrónicos de barrido o SEM (que trabajan con los electrones reflejados y/o re-emitidos y con voltajes típicos entre 1 y 30 kV) y los de transmisión o TEM (que emplean electrones que atraviesan la muestra y voltaje entre 100 y 300 kV). Entre los segundos, primero surgió el microscopio de efecto túnel o STM (que sólo podía emplearse con muestras conductoras), luego el microscopio de fuerzas atómicas o AFM, y posteriormente diversas variantes: el microscopio de fuerzas magnéticas Fig. 1. (MFM), el de fuerzas electrostáticas (EFM), el de fricción (SFFM), el de potencial superficial (KPFM), el de campo cercano (SNOM), etc. Combinando las técnicas de microscopía electrónica con las de sonda de barrido y con las nuevas técnicas de microscopía óptica de súper-resolución, no sólo se puede estudiar la morfología de los materiales en la nanoescala, sino que se tiene acceso a la composición química, a la estructura cristalina, y a la medida de diversas propiedades: electrónicas, magnéticas, mecánicas, ópticas...

En cuanto a la fabricación de nanoestructuras, cabe distinguir dos aproximaciones denominadas descendente y ascendente:

-Por un lado, al igual que un escultor emplea cincel y martillo para sacar formas de un bloque de piedra, en la vía descendente (*top-down*) se emplean diversas herramientas para miniaturizar o moldear desde lo macroscópico. Las técnicas más empleadas en la aproximación descendente son la molienda, el ataque por iones, y diversos tipos de litografía: por luz ultravioleta (se usan longitudes de onda más cortas para hacer cosas cada vez más pequeñas, hoy en día ya se emplea el ultra-violeta extremo), por electrones, por haz de iones, o por nanoimpresión.

-Por otro, a semejanza del aficionado a Lego que construye casitas uniendo pequeñas piezas, en la vía ascendente (*bottom-up*) se ensamblan nanoentidades (átomos, moléculas), ya sea de forma forzada, ya mediante procesos de autoensamblado. En lo que respecta a la aproximación ascendente, las técnicas más conocidas son la síntesis química, la síntesis electroquímica, la manipulación por SPM, los procesos sol-gel, y las diversas técnicas de condensación desde fase vapor: la deposición química de vapor (CVD), la deposición de capas atómicas (ALD), la epitaxia de haces moleculares (MBE), la ablación láser (PLD), y la pulverización catódica (*sputtering*).

Todo este conjunto de técnicas permite fabricar de forma controlada diversas nanoestructuras que podemos clasificar por el número de dimensiones que poseen en la nanoescala:

-Con una dimensión, el espesor, se preparan láminas delgadas y ultra-delgadas. Los discos duros de ordenador o los paneles fotovoltaicos son ejemplos de este tipo de láminas, en muchos casos formados por varias capas de composición y espesores distintos (y entonces se las denomina “multicapas”).

-Con dos dimensiones se fabrican nanotubos, nanohilos, nanopilares y biopolímeros. Por ejemplo, los nanotubos de carbono son ligeros y muy resistentes, por lo que ya se emplean en la fabricación de raquetas de tenis y palos de golf y se está investigando su uso en materiales para aeronáutica.

-Con las tres dimensiones nanométricas se producen fulerenos, nanopartículas, puntos cuánticos, dendrímeros y liposomas. A modo ilustrativo, cabe mencionar que estos últimos son esferas que se emplean como transportadoras de medicamentos en diversas terapias contra el cáncer.

Conviene asimismo señalar que todos estos materiales pueden ser susceptibles de “funcionalización”, esto es, de ser modificados en su superficie e incluso combinarse para dotarles de nuevas funciones o conseguir una mejora de alguna de sus propiedades. Así, las nanopartículas suelen recubrirse con surfactantes para impedir que se aglomeren. Y en los sensores de gases basados en la resonancia de plasmón de una lámina delgada de oro, ésta se funcionaliza con una capa porosa (por ejemplo formada por nanopilares de dióxido de titanio) que capta las especies que se desea detectar.

Como acabamos de ver en los ejemplos anteriores, la nanotecnología ya tiene aplicación hoy en día en tres grandes sectores: tecnologías de la información y las comunicaciones, energía y medioambiente, ciencias de la salud y biotecnología [5,6]. Y en ocasiones, un mismo tipo de nanoestructuras puede ser útil en todos ellos. Por ejemplo, nanoestructuras con propiedades antibacterianas pueden emplearse en dispositivos de reconocimiento de huella para impedir la propagación de infecciones en un centro de trabajo, en dispositivos de tratamiento de aguas y en implantes medicinales.

En mi caso particular, he llegado a trabajar en nanotecnología desde la Física, esto es, desde el estudio de las entidades elementales de materia que podemos manipular (los átomos) y de sus diversas interacciones. Pero puede llegarse a la nanotecnología desde otros campos del saber. Tanto el desarrollo instrumental como los materiales que forman las nanoestructuras pueden abarcarse desde la Ingeniería. Dado que en los sistemas nanométricos cobran especial importancia las superficies y las intercaras donde comienzan las reacciones, la Química también es una buena base desde la que construir una carrera profesional en nanotecnología. Como también lo son la Biología, la Farmacia y la Medicina, puesto que esos sistemas van a relacionarse con entidades biológicas de unos pocos nanómetros (moléculas orgánicas), de centenas de nm (virus y bacterias) e incluso de miles de nm (células). Y tampoco hay que olvidar que la Informática y las Matemáticas pueden proporcionarnos poderosas herramientas de cálculo para modelizar las propiedades en la nanoescala. Llegamos así a un hecho indudable: la nanotecnología es un campo eminentemente multidisciplinar. Por ello, el nanotecnólogo no sólo debe informarse de los recientes avances en su campo de especialización, sino que debe diversificar su atención, estar atento a los descubrimientos en otras áreas y, en la medida de lo posible, asistir a congresos que le permitan abarcar otras disciplinas. Asimismo, es necesario que consiga crear una red de colaboración que pueda hacer frente a los distintos retos científico-tecnológicos que encuentre en su labor investigadora, pues será difícil que pueda resolver todos por sí solo. Y por último, pero no por ello menos importante, debe ser consciente de los posibles riesgos que puedan ocasionar la fabricación y el uso de los nanomateriales. La nanotecnología puede mejorar el mundo en muchos aspectos, pero sólo si se trabaja en ella con entusiasmo y responsabilidad.

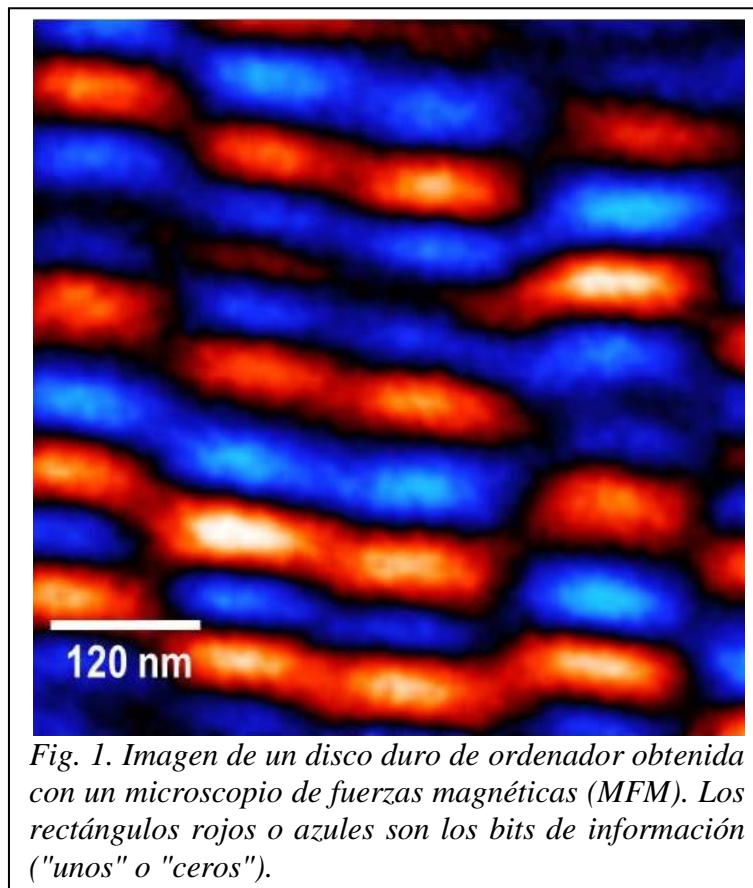


Fig. 1. Imagen de un disco duro de ordenador obtenida con un microscopio de fuerzas magnéticas (MFM). Los rectángulos rojos o azules son los bits de información ("unos" o "ceros").

Referencias:

- [1] Richard Feynman: "There's Plenty of Room at the Bottom", conferencia impartida en Caltech el 29 de Diciembre de 1959, <http://calteches.library.caltech.edu/47/2/1960Bottom.pdf>
- [2] E. P. Ivanova *et al.*, "Natural Bactericidal Surfaces: Mechanical Rupture of Pseudomonas aeruginosa Cells by Cicada Wings", *Small* 16, 2489 (2012)
- [3] D. Erhardt: "Materials conservation, not-so-new technology", *Nature Materials* 2, 509 (2003)
- [4] El Premio Nobel de Física de 1986 reconoció estos descubrimientos: fue compartido entre Ernst Ruska, que construyó el primer microscopio electrónico de transmisión, y Gerd Binnig y Heinrich Rohrer, co-inventores del microscopio de efecto túnel: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1986/
- [5] Unos pocos ejemplos en: J.M. García Martín, "¿Qué son la nanociencia y la nanotecnología? ¿Cómo afectarán a nuestras vidas?", Capítulo 68 del Libro "CIENCIA, y además lo entiendo!!!" (Ed.: Q. Garrido Garrido): <http://divulgacioncientificadecientificos.blogspot.com.es/p/libro-book.html>
- [6] Y más ejemplos en este excelente ensayo divulgativo: "La nanotecnología", Pedro Serena, Los Libros de la Catarata (2010)

José Miguel García-Martín

Doctor en Ciencias Físicas

Investigador Científico, Instituto de Micro y Nanotecnología, CSIC