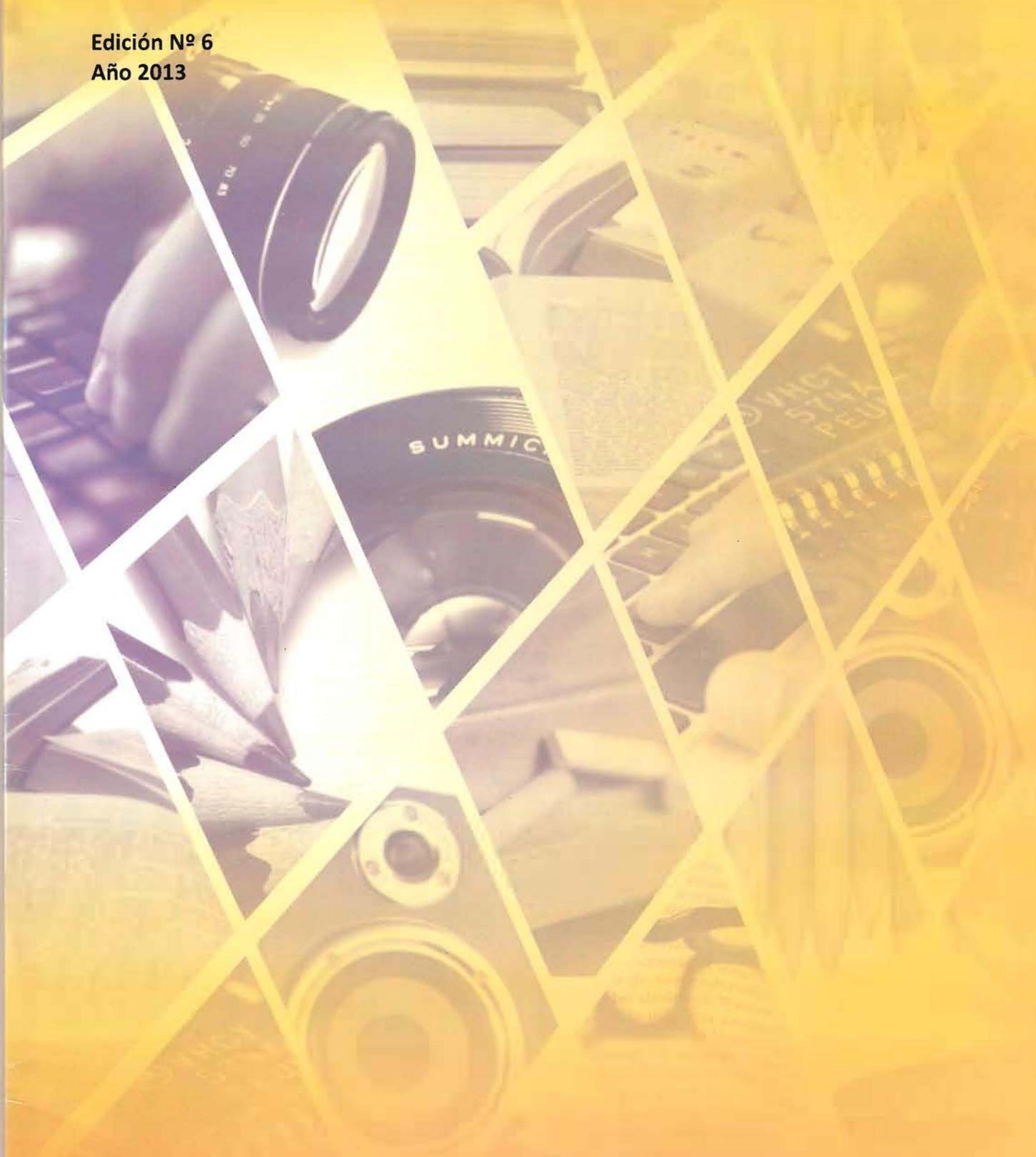


ISSN 2250-740X

tekné

Ideas y experiencias en Educación
Tecnológica y Tecnología

Edición Nº 6
Año 2013



NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA:

algunas definiciones y aplicaciones

Por Roberto D. Zysler

RESUMEN

La nanociencia y nanotecnología ya forma parte de nuestras vidas y sus aplicaciones ya se encuentran en nuestras casas y trabajo desde hace ya unos años. En este trabajo entraremos en este nuevo mundo entendiendo en qué consiste la nanotecnología, por qué su gran impacto y veremos algunas de sus aplicaciones como ejemplo de su potencial.

¿QUÉ ES LA NANOCIENCIA Y NANOTECNOLOGÍA?

En las últimas décadas se ha consolidado una nueva área en la ciencia y tecnología: la nanociencia y la nanotecnología. La primera pregunta que surge a partir de las definiciones de esta ciencia y tecnología es el significado de las mismas. El prefijo nano corresponde a una escala de 10^{-9} veces la unidad de medida. En el caso particular que nos interesa, la nanociencia y nanotecnología están referidas a la unidad de longitud, el metro. Esta nueva ciencia y tecnologías están dimensionadas en el orden del nanómetro, 10^{-9} metro. Es muy difícil tener conciencia de esta dimensión si no lo comparamos con materiales conocidos que podemos ver y tocar. El nanómetro es la milésima parte del micrómetro (o micrón). Un material del tamaño de algunos micrones es posible observarlo en un microscopio óptico. Las células tienen tamaños variables de algunos micrones. El espesor de una hoja de papel es del orden de 100 micrones y los cabellos son del orden de 50 a 90 micrones. O sea, un cabello tiene un diámetro entre 50000 a 90000 nanómetros. Como se puede notar, los elementos más pequeños que se pueden percibir son varios órdenes de magnitud mayores respecto a un material nanométrico. Una comparación de este tipo lo podemos observar en la figura 1 donde podemos observar en la misma imagen un cabello junto a un nanotubo de carbono.

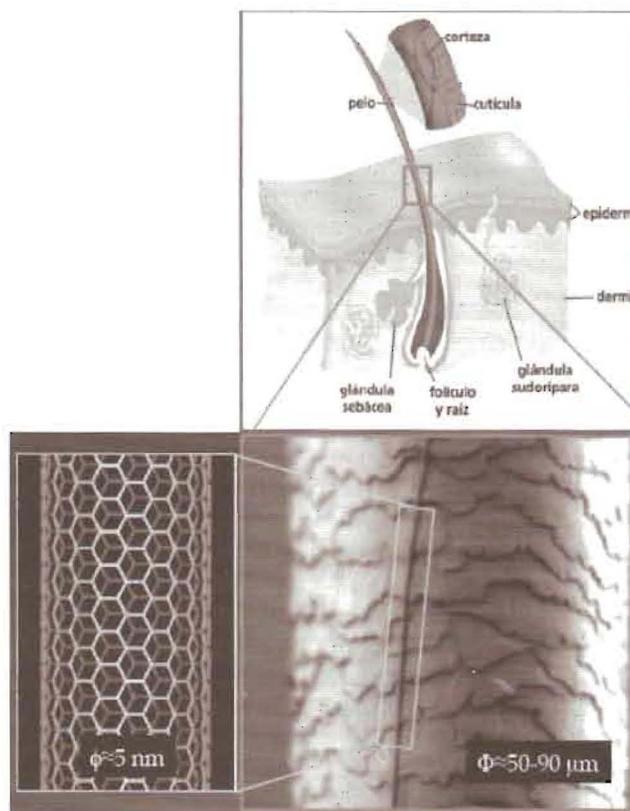


Figura 1

Si cambiamos el punto de vista, en un nanómetro podemos incluir sólo unos pocos átomos, del orden de 8-9 moléculas de agua. Esto nos indica que los materiales de tamaño nanométrico poseen dimensiones mayores a una molécula simple y menores a una partícula de polvo (que posee las mismas propiedades del mismo compuesto en dimensiones mucho mayores). En la naturaleza ya existen materiales complejos de tamaño nanométrico. La vida está basada en estas dimensiones: el ADN y las proteínas tienen este rango de tamaño, así como los virus más pequeños. En la figura 2 se muestra una comparación de tamaños de los distintos constituyentes de los seres vivos con células y asimismo con materiales artificiales nanométricos. Esta comparación ayuda a concientizarnos sobre la real dimensión de estos materiales.

Figura 1: La imagen de abajo a la derecha muestra una imagen de microscopía electrónica de barrido donde se observa simultáneamente un cabello y un nanotubo de carbono a modo de comparación. Las demás imágenes son esquemas pictóricos de los mismos para situarlos en su tamaño real por separado.

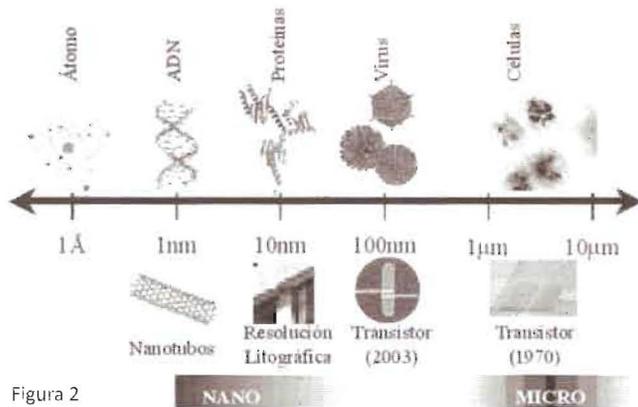


Figura 2

Ahora que entendemos que la nanociencia y nanotecnología se refieren a materiales de tamaño nanométrico, queda por entender por qué los materiales de esta dimensión son capaces de abrir todo un nuevo mundo de propiedades y aplicaciones tecnológicas. Para ello tomemos como ejemplo un elemento macroscópico como un cubo de 2 cm de lado (figura 3). El volumen de este cubo es $V = L^3 = (2\text{cm})^3 = 8\text{cm}^3$. Ahora calculemos cuál es el volumen que involucra a los átomos en la superficie de este cubo. Para ello debemos suponer un espesor de esta superficie. Este espesor es el que ocupan la última capa y media de los átomos de la superficie que podemos estimar en $e = 0.5\text{nm}$ ($5 \times 10^{-8}\text{cm}$). Así, el volumen de la "superficie" de este cubo es $V_s = 6 \times L^2 \times e = 6 \times 4\text{cm}^2 \times 5 \times 10^{-8}\text{cm} = 1.2 \times 10^{-6}\text{cm}^3$. Para estimar la influencia de los átomos de la superficie en este cubo, basta ver la relación entre los volúmenes: $V_s/V = 1.5 \times 10^{-7}$!! Esta relación indica que las propiedades de un material de tamaño macroscópico está fuertemente dominado por los átomos del interior del mismo siendo las propiedades inherentes a la superficie prácticamente despreciables. Esta última reflexión no es válida para las propiedades esencialmente superficiales como la química en la superficie, reflexión/absorción de luz, etc. Si en cambio, se realiza el mismo análisis para un objeto de tamaño nanométrico, el resultado es muy distinto. Si consideramos ahora un cubo de 5nm de lado (figura 3) y suponemos el mismo espesor superficial, se obtiene que $V = 125\text{nm}^3$ y $V_s = 75\text{nm}^3$. Luego, la relación átomos en superficie / átomos en el volumen es de 0.6. ¡El 60% de los átomos de este objeto están en la superficie! Con este análisis se evidencia que las propiedades físicas y químicas de estos objetos nanométricos estarán dominadas por los átomos de la superficie del mismo. O sea, sus propiedades estarán dominadas

por las que hemos descartado en los materiales macroscópicos por insignificantes. Esto nos lleva a entrever que se observarán nuevas propiedades en estos objetos nanométricos (distintas a los macroscópicos de la misma composición) provenientes de la superficie de los mismos y también inherentes al tamaño reducido de estos materiales. Estos hechos permitiría el diseño de nuevos materiales con nuevas propiedades que podrían sintonizarse a medida de las necesidades tecnológicas abriendo un mundo de nuevas posibilidades para la ciencia e industria.

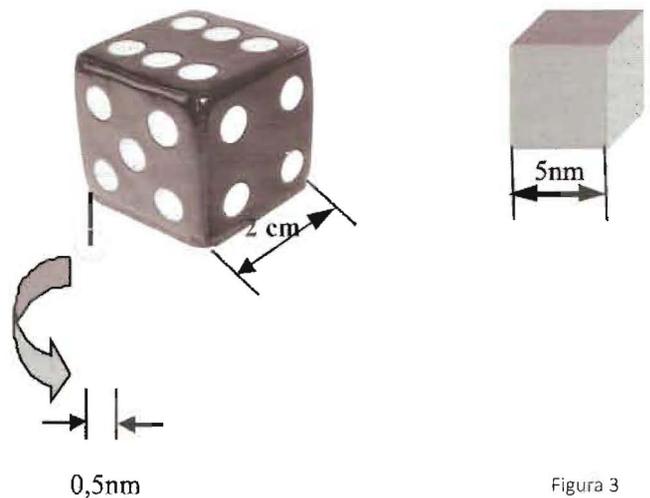


Figura 3

Esta posibilidad de encontrar nuevas propiedades de los materiales ya fue postulada en 1959 Richard Feynmann por primera vez en una conferencia sobre el futuro de la investigación científica: "A mi modo de ver, los principios de la Física no se pronuncian en contra de la posibilidad de maniobrar las cosas átomo por átomo". El desarrollo de la microelectrónica fue la que permitió la fabricación, manipulación y caracterización de los nanoobjetos. Si observamos el tiempo transcurrido y los tamaños involucrados desde la invención del primer transistor en 1947 y los circuitos integrados con millones de transistores por mm^2 en los años '70 (figura 4) notamos que la ciencia y la tecnología se mueven a velocidades de avance vertiginoso. La industria de la microelectrónica ha estimulado la mejora y la innovación de los métodos de fabricación a nivel micro y nanométrico permitiendo por ejemplo el crecimiento de películas delgadas con espesores a nivel atómico, creando así materiales artificiales compuestos por multicapas de distintos materiales y la litografía electrónica permite el diseño de dispositivos formados por estas multicapas (figura 5).

Figura 2: Comparación entre los sistemas biológicos y materiales artificiales de dimensiones nanométricas

Figura 3: comparación entre objetos macroscópico y nanométrico

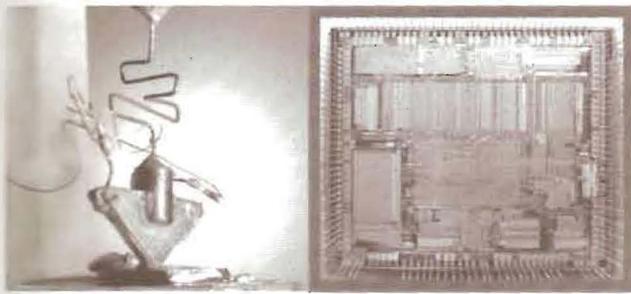


Figura 4

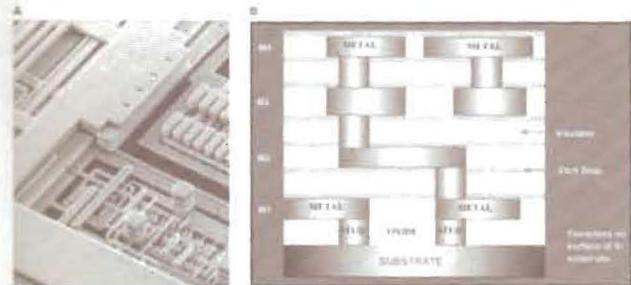


Figura 5

Según el proceso de fabricación de los objetos nanométricos, los mismos se los puede clasificar en top-down y bottom-up. En los procesos de fabricación top-down, el punto de partida es una pieza de material de tamaño macroscópico que por maquinado, o siguiendo los métodos apropiados, se va reduciendo al tamaño deseado. Este procedimiento es el que se sigue actualmente para la fabricación de circuitos integrados, micromáquinas y sistemas de nanopartículas a partir de molienda mecánica. En los procesos de fabricación "bottom-up" el objetivo es construir el nanoobjeto átomo a átomo o molécula a molécula. Aquí entran en juego técnicas de síntesis química molecular, el ensamblaje de moléculas o nanopartículas y el crecimiento de películas delgadas capa por capa de átomos. Aplicaciones

En vista las nuevas propiedades que presentan los objetos nanométricos y sus potenciales aplicaciones, la característica fundamental de nanotecnología es que constituye un ensamblaje interdisciplinar de varios campos de las ciencias naturales que están altamente especializados. Los físicos juegan un importante rol no sólo en el desarrollo de equipamiento para la caracterización y manipulación de nanoobjetos sino también en el estudio de las nuevas propiedades. Aquí, la ciencia ha alcanzado un punto en el que las fronteras que separan las diferentes disciplinas han empezado a diluirse, y es precisamente por esa razón por la que la nanotecnología también se refiere a ser una tecnología convergente. Así, se integran conocimientos de Física, Química, Biología, Matemática, Bioquímica, Ciencia de Materiales, Ingeniería, Medicina con la finalidad de generar nuevos conocimientos, bienes y servicios. Los principales campos de aplicación son las tecnologías, los materiales, la biotecnología, la medicina y la salud, la energía y el medio ambiente.

El cambio en la dureza de los materiales con la reducción del tamaño es conocido desde tiempos históricos. Ello está presente en la evolución de la metalurgia hasta el presente. Actualmente, aprovechando este hecho se realizan materiales híbridos llamados nanocompuestos (nanocomposites) donde las propiedades mecánicas, eléctricas, térmicas, ópticas, electroquímicas, catalíticas del nanomaterial compuesto se diferencian notablemente de la de los materiales componentes por separado [1]. Particularmente se han desarrollado nanocompuestos cerámicos que poseen una dureza extrema que no se consigue con materiales masivos de la misma composición.

Debido a que se produce un confinamiento de los electrones en estos objetos nanométricos, se modifican las propiedades electrónicas de los mismos. Uno de las evidencias más notables de esto es el cambio de color de los materiales dependiendo de su tamaño. Un ejemplo típico es el caso de nanopartículas de oro. Suspensiones de nanopartículas de oro cambian su color dependiendo del tamaño de las mismas (figura 6) [2]. La industria de la pintura y la industria cosmética ha aprovechado esta propiedad de las nanopartículas para fabricar materiales en los que "sintonizan" el color buscado variando el tamaño de la partícula. De esta forma se consigue una paleta de

Figura 4: izquierda, primer transistor fabricado en 1947 en los Bell Laboratories en Murray Hill, Nueva Jersey, Estados Unidos. Derecha, microprocesador CPU AMD incluyendo millones de transistores en pocos mm².

Figura 5: Arriba izquierda, dispositivos litografiados partiendo de multicapas de distintos materiales de espesor nanométrico (arriba derecha). Abajo, objetos diseñados por litografía electrónica sobre un sustrato de silicio.

colores mucho más rica que la obtenida por el método tradicional que corresponde a un color por compuesto. Asimismo, se ha conseguido variaciones de colores en recubrimientos con la aplicación de campos magnéticos y/o eléctricos (con lo cual se consigue una variación de las bandas electrónicas y de plasmones) que pueden ser usadas en ventanas inteligentes, indicadores o sensores.

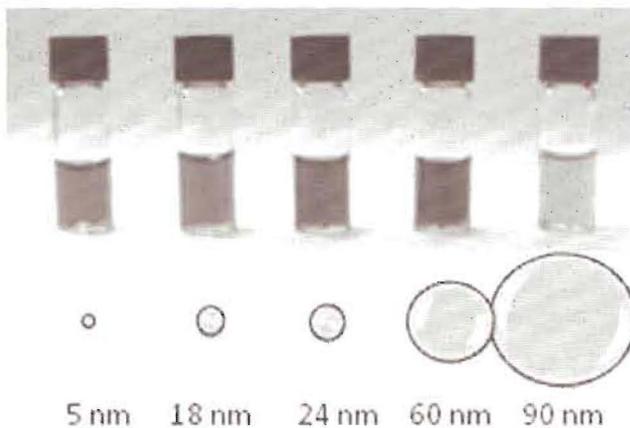


Figura 6

En 1991 se descubren los nanotubos de carbono [3]. Los mismos consisten en una forma alotrópica del carbono donde planos de grafito se enrollan sobre sí mismos (figura 7). Estos nanotubos presentan propiedades mecánicas, eléctricas y térmicas muy particulares. Debido a su estructura compleja presenta un comportamiento semiconductor que se ha utilizado en la industria electrónica dentro de los chips como una parte activa de los mismos. Algunos modelos predicen que la conductividad térmica de los nanotubos puede llegar a ser tan alta como 6.000 W/mK a temperatura ambiente siendo además muy estables térmicamente (2.800 °C el vacío y 750 °C en aire). Las propiedades mecánicas son muy sorprendentes. La estabilidad y robustez de los enlaces entre los átomos de carbono, del tipo sp^2 , les proporciona la capacidad de ser la fibra más resistente que se puede fabricar hoy día. Por otro lado, frente a esfuerzos de deformación muy intensos son capaces de deformarse notablemente y de mantenerse en un régimen elástico. El módulo de Young de los nanotubos podría llegar a oscilar entre 1,3 y 1,8 terapascales [4]. Estas propie-

dades mecánicas ha permitido el reemplazo total o parcial de la tradicional fibra de carbono por nanotubos en muchas aplicaciones mejorando así las propiedades mecánicas de las mismas.

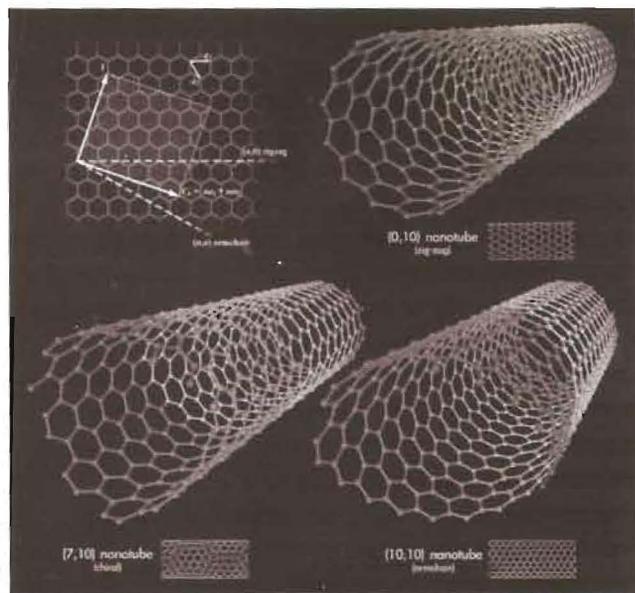


Figura 7

Las propiedades magnéticas de los materiales cambian notablemente a escala nanométrica. Las nanopartículas se ordenan magnéticamente como un monodominio magnético comportándose como un "nanoimán". Dependiendo de la dinámica de este nanoimán se puede obtener un material magnéticamente blando (como el núcleo de una bobina) o magnéticamente duro (imanes permanentes). Es notable que partículas de la misma composición puedan tener ambos comportamientos y que la elección dependa sólo del tamaño de la nanopartícula [5, 6]. Dada esta propiedad, sumado a la variación de las propiedades de los materiales con distintas composiciones permite el diseño de núcleos de bobinas muy eficientes aún a altas frecuencias e imanes permanentes de gran potencia como los utilizados actualmente compuestos por tierras raras. Como caso intermedio se puede citar una aplicación muy importante que es el registro magnético de la información en la que es necesario una magnetización estable en el tiempo pero que sea posible invertirlo bajo la acción de un campo magnético moderado. Cada unidad de magnetización se convierte

Figura 6: Disoluciones de nanopartículas de oro de distintos tamaños.

Figura 7: Distintos tipos de enrollamiento de planos de grafito formando nanotubos de carbono.

así en un bit de información. El disco rígido magnético utilizado en las computadoras funciona bajo este principio (figura 8). En este dispositivo se combinan los tres casos de materiales mencionados. El disco es el soporte magnético de la información (bits) estable en el tiempo con capacidad de regrabación, los imanes permanentes se utilizan como actuadores en los motores de rotación del disco y movimiento del brazo escritor/lector y los materiales magnéticamente blandos están presentes en el núcleo del micro-electroimán utilizado en la grabación magnética. El desarrollo de nuevos materiales magnéticos ha permitido en los últimos años mejorar la tecnología de imanes permanentes y aumentar la densidad de información guardada en los discos llegando a unidades de terabytes o bien sistemas tan pequeños que pueden reemplazar una tarjeta de memoria SD (figura 8).



Figura 8

Las películas delgadas magnéticas también permiten sintonizar las propiedades magnéticas y eléctricas de las mismas. Un caso muy importante de este hecho se observa en el sistema de multicapas magnéticas que dan a lugar el efecto de magnetorresistencia gigante [7] (figura 9). Este efecto se produce en la interfaz entre películas magnéticas y metálicas no-magnéticas por la que circula una corriente. El resultado de esta configuración produce un dispositivo de alta sensibilidad al campo magnético que se le aplique disminuyendo su resistencia eléctrica notablemente ante este campo (efecto de magnetorresistencia gigante). Es importante destacar que esta nanoestructura es artificial (no existe en la naturaleza) y la propiedad observada tampoco es visible en la naturaleza en este orden de magnitud. Estos dispositivos han permitido un gran avance en aumentar la densidad de información en los discos rígidos utilizándolo en las cabezas lectoras de los mismos.

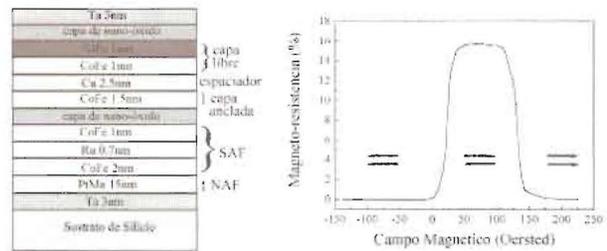


Figura 9

Las nanopartículas magnéticas ofrecen posibilidades muy atractivas en el área de aplicaciones en medicina, disciplina en principio no cercana a la física [8, 9]. La naturaleza magnética de las nanopartículas permite la manipulación de un gradiente de campo magnético externo que abre aplicaciones que implican el transporte y/o inmovilización de, por ejemplo, un medicamento contra el cáncer, o de una cohorte de átomos de radionucleidos. El principio de esta técnica consiste en conducir la medicación que se encuentra recubriendo las partículas magnéticas de forma que sólo actúe en la zona afectada por el tumor. Esto se consigue localizando un campo magnético en la región tumoral en el momento de la aplicación de la medicación, manteniéndola en la zona afectada hasta que la misma haya completado su ciclo curativo. Además, las nanopartículas magnéticas pueden responder a un campo magnético variable en el tiempo, transfiriendo la energía del campo a la nanopartícula. Entonces, la partícula se puede utilizar para calentar las células, como agentes de hipertermia, a los órganos blanco, tales como tumores. Una combinación de estas aplicaciones con los sistemas magnetorresistentes permite crear un híbrido capaz de interactuar con sistemas biológicos (las nanopartículas funcionalizadas) y ser detectadas luego sólo si esta interacción fue positiva (sistema magnetorresistente). Este dispositivo, denominado Lab on a Chip, permitiría el diagnóstico de enfermedades y/o el estado del paciente analizando sólo una gota de sangre [10]. Las nanopartículas funcionalizadas al interactuar con la biomolécula, activan un receptor que se conjuga con las moléculas que funcionaliza el sensor. Este sensor posee la sensibilidad para detectar las partículas que se han adherido a su superficie (figura 10). El chip puede poseer un arreglo de estos sensores funcionalizados para reconocer nanopartículas activas a distintas biomoléculas con lo que conseguiría reconocer diferentes antígenos (enfermedades presentes) o moléculas específicas que dieran cuenta del

Figura 8: Izquierda, disco rígido utilizado en las computadoras personales de 1 terabyte (1012 bytes) de capacidad. Derecha, disco rígido del tamaño de una tarjeta SD de 32Gbytes de capacidad.

Figura 9: Izquierda. Esquema de multicapas utilizado en la cabeza lectora del disco rígido basado en un sistema magnetorresistente gigante. Derecha. Gráfico del cambio en la resistencia eléctrica (% magnetorresistencia) vs. campo magnético aplicado. Las flechas esquematizan las magnetizaciones de las capas involucradas en la magnetorresistencia.

estado de salud del individuo. Estos sistemas permitirían un diagnóstico en lugares remotos o al pie de la cama del paciente con una muy pequeña muestra del mismo.

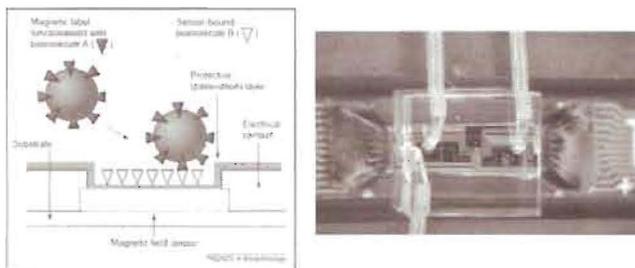


Figura 10

CONCLUSIÓN

Existen una infinidad de otras aplicaciones de los materiales nanométricos que quedarán fuera de este artículo como los catalizadores, superficies hidrofóbicas, control medioambiental, nanosensores, nanoactuadores, polímeros especiales, bactericidas, empaques inteligentes, etc. El mundo tanto en la investigación de la nanociencia como en las aplicaciones nanotecnológicas que se ha abierto parece no tener límites. Hoy se pueden fabricar y diseñar materiales "a medida" y las aplicaciones abarca campos tan variados como la informática, energía, salud, medio ambiente, alimentación, ciencia de materiales, etc. Al parecer el límite de la nanotecnología es la imaginación del hombre.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Kamigaito, O, J. Jpn. Soc. Powder Powder Metall. 38:315-21, 1991 in Kelly, A, Concise encyclopedia of composites materials, Elsevier Science Ltd, 1994
- [2] Robert Elghanian, James J. Storhoff, Robert C. Mucic, Robert L. Letsinger, Chad A. Mirkin, Science Vol. 277 no. 5329 pp. 1078-1081, 22 August 1997.
- [3] S. Iijima. Nature 354, 56-58 (1991)
- [4] B.G. Demczyk, Y.M. Wang, J. Cumings, M. Hetman, W. Han, A. Zettl, R.O. Ritchie, Materials Science and Engineering A334, 173 - 178 (2002).
- [5] L. Néel, Ann. Geophys. 5 99 (1949).
- [6] W F Brown, Phys. Rev. 130 1677 (1963).
- [7] M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, and F. Petroff , P. Etienne, G. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas, Phys. Rev. Lett. 61, 2472-2475 (1988).
- [8] Rodolfo D Sánchez y Roberto D Zysler, Ciencia Hoy 15 (85), 40-51 (Febrero-Marzo 2005).
- [9] Suphiya Parveen, MS, Ranjita Misra, MS, Sanjeeb K. Sahoo, Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine vol 8 147-166 (2012).
- [10] Daniel L. Graham, Hugo A. Ferreira, Paulo P. Freitas, TRENDS in Biotechnology, Vol.22, 455 (2004).

Figura 10: Derecha, principio de funcionamiento de sensores Lab-on-Chip donde las nanopartículas funcionalizadas que han reconocido una biomolécula se adhieren al sensor magnetorresistente dando cuenta de su estado. Izquierda, prototipo del sistema.

ZYSLER ROBERTO DANIEL

Investigador Principal CONICET – Profesor Asociado Instituto Balseiro (Univ. Nac. de Cuyo)

Licenciado en Física en 1985 y en 1990 Doctor en Física en el Instituto Balseiro, basando su tesis en temas de Magnetismo en Sólidos. En 1992 y 1993 realizó una estadía posdoctoral en Roma, Italia, becario de la Comunidad Europea y el Conicet. Durante el posdoctorado realizó estudios sobre sistemas de nanopartículas magnéticas y sistemas relacionados con los superconductores de alta temperatura crítica. En 1994 se incorporó al Laboratorio Resonancias Magnéticas del Centro Atómico Bariloche como Investigador del Conicet. Desde entonces trabaja en el estudio sistemas de nanopartículas magnéticas y desde 2005 en las aplicaciones de estas nanopartículas en medicina y biología.

Ha formado recursos humanos dirigiendo trabajos de grado, tesis de Maestría, Doctorales e investigadores. Ha publicados en revistas internacionales, presentado trabajos en congresos nacionales e internacionales.



zysler@cab.cnea.gov.ar