

Dr. Rolando Pérez Álvarez
Facultad de Ciencias, UAEM
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

Electrónica, Microelectrónica y Nano

El siglo XX fue testigo de innumerables éxitos de la ciencia y la tecnología. Quizá uno de los más relevantes fue el nacimiento de varias ciencias como la mecánica cuántica o la física del estado sólido. Este avance científico dio lugar a importantes logros tecnológicos, como consecuencia directa del trabajo científico. En las líneas que siguen intentaremos dar las ideas básicas de cómo la física del estado sólido permitió el auge de la *electrónica*, naciendo la llamada *microelectrónica*, y más adelante la *nanoelectrónica*.

Ya en la primera mitad del siglo XX los estudios de la corriente eléctrica en gases y en el vacío habían dado lugar a las llamadas válvulas o bulbos (ver figura 1) utilizados en diversas aplicaciones tales como radios y televisores. Es de esta manera, y a muy grandes rasgos, que nació la ciencia llamada electrónica.

Por otro lado, aunque los materiales sólidos se venían estudiando desde muchos años atrás, en la primera mitad del siglo pasado se incrementó de manera drástica el número de investigadores y laboratorios que centraron esfuerzos en investigaciones básicas y aplicadas de dichos materiales; y en paralelo, también creció la cantidad de dinero que instituciones públicas y privadas dedicaron

a las investigaciones científicas. Como parte de estas iniciativas, en diciembre de 1947 en los Laboratorios Bell de Estados Unidos de América fue inventado el transistor bipolar por John Bardeen, Walter Houser Brattain y William Bradford Shockley [1] quienes fueron galardonados con el Premio Nobel de Física en 1956. Este dispositivo fue el sustituto del bulbo o válvula termoiónica de tres electrodos, o triodo. A partir de este descubrimiento se desencadenaron trabajos científicos por todo el mundo apareciendo, uno tras otro, nuevos dispositivos con un sinnúmero de características y usos. A diferencia de los bulbos, los transistores eran diminutos y no requerían vacío. Si nos abstraemos del encapsulado, la parte propiamente activa del dispositivo no sobrepasa las pocas millonésimas de metro. Es por esto que a la ciencia que los estudia y los aplica se le llamó microelectrónica. Recordemos que el prefijo "micro" significa millonésima, y es el que origina este nombre.

Esta nueva generación de dispositivos se componen de una o varias capas de materiales sólidos, mayormente silicio con alguna impureza añadida de manera controlada. El silicio pertenece a un grupo muy importante de materiales llamados semiconductores ya que no conduce la electri-



Figura 1. Los bulbos o válvulas de vacío son los dispositivos característicos de la electrónica de mediados del siglo pasado. En la parte inferior de la figura se puede apreciar una escala que da una idea del tamaño típico que tenían.

idad tan bien como los metales ni tan mal como los aislantes. Sin embargo, esta propiedad, es decir la conductividad eléctrica, varía de manera ostensible por efectos de la temperatura y/o de la presencia de las impurezas, y estos factores se usan de manera relevante en el diseño y construcción de los dispositivos semiconductores. Desde el transistor bipolar de Bardeen, Brattain y Shockley, esta historia ha tenido un desarrollo vertiginoso. Hoy en día los aparatos electrónicos fabricados con base en semiconductores se caracterizan por tener múltiples usos, gran fiabilidad, duración y tamaños cada vez más pequeños. Probablemente el episodio más trascendente de dicha historia fue la introducción de los circuitos integrados, muy usados por ejemplo, en las computadoras, donde millones de estos dispositivos están agrupados de manera inteligente en muy pocos centímetros o incluso milímetros cuadrados. Una consecuencia directa de este proceso de miniaturización, que no ha llegado a su límite todavía,

es que los precios bajan al mismo tiempo que el desempeño sube: la computadora que hoy vale 10,000 pesos costará la mitad el año próximo y estará obsoleta en dos años; pero la nueva computadora, siendo más barata, realiza más tareas y mucho más rápidamente que su predecesora. Ya entrada la década de 1970 la física del estado sólido y ciencias afines conocieron otra revolución al lograr producir de manera controlada y estudiar en detalle sistemas donde las capas de los materiales tienen como tamaño característico uno o varios nanómetros. Cuando decimos "de manera controlada" significa que es posible controlar a voluntad, por ejemplo, la composición química, el contenido de impurezas, las temperaturas, y otras propiedades de los materiales. El prefijo "nano" significa "milésima de millonésima", de modo que las capas de que hablamos tienen un espesor típico de 0.000 000 001 metros. Para dar una idea, en estas capas caben unos

pocos átomos. ¡Y esto se logra experimentalmente de manera controlada! Es así que a la electrónica basada en estos sistemas se le conoce como nanoelectrónica. Ahora bien, estos sistemas tienen propiedades diferentes a los que se conocían hasta el momento y se han logrado construir dispositivos como los transistores de alta movilidad de electrones (HEMTs, del inglés, *High Electron Mobility Transistors*), que se usan en electrónica de bajo ruido, así como fotodetectores infrarrojos para operar imágenes infrarrojas, por poner sólo dos ejemplos. El apuntador laser, que tanto usamos en conferencias, y hasta en los salones de clase, es un fruto de esta historia. Estos últimos



Figura 2. Los transistores. Nótese la escala en la cinta métrica a la derecha de la figura.

Números de EMERGENCIA	
	Policía Federal Preventiva.....3 22-02-56 3 22-48-89
	Policía Ministerial Estatal.....3 29-15-00
	Policía Preventiva Estatal
	Policía Preventiva Metropolitana
	Bomberos de Cuernavaca
	Protección Civil de Cuernavaca
	Centro de Control Emergencias Cívicas.....3 20-50-54
	Policía Preventiva de Jiutepec.....3 21-15-25
	Policía Preventiva de Temixco.....3 26-93-85
	Bomberos de Temixco.....3 85-12-98
	Policía Preventiva de Emiliano Zapata.....3 68-28-23
	Policía Preventiva de Xochitepec.....3 61-20-93
	Cruz Roja EMERGENCIAS
	Centro de Respuestas a Emergencias Yautepac.....735 394 1951
	ERUM3 29-11-36
	Agencia Funeraria Naser Morelos.....3-11-92-23 3-11-92-24

nanoelectrónica

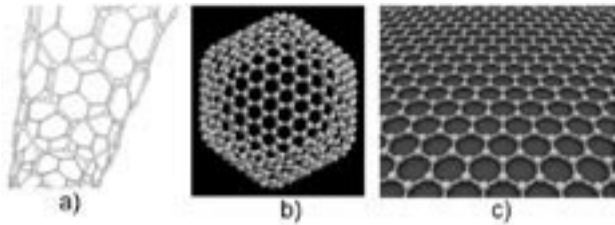


Figura 3. a) Esquema de un nanotubo de carbono. Cada bola representa un átomo de carbono y las varillas entre ellos los enlaces. El radio del tubo puede estar en el orden de un nanómetro. b) Esquema del fullereno C_{540} . El subíndice 540 indica la cantidad de átomos de carbono. c) Esquema del grafeno. Nótese la disposición de los átomos formando hexágonos en el plano.

ejemplos, el fotodetector y el apuntador laser, son dos casos en que no sólo se atiende a las propiedades propia- mente eléctricas de los sistemas, sino también a sus características ópticas. Un tercer ejemplo muy importante, es el de las celdas solares, tema que merece un tratamiento aparte por su significado en términos de física básica, aplicaciones y trascendencia social, y que ha tenido avances muy importantes en las últimas décadas. Hoy en día se construyen dispositivos de manera que la parte activa es del orden de algunas decenas o quizá centenas de nanómetros, aunque en algunos, como las celdas solares, hay versiones anteriores con capas activas netamente por encima de la escala nanométrica mientras que las variantes más modernas o a nivel de laboratorio se fabrican con partes activas de algunas pocas capas atómicas.

Actualmente aparece el prefijo "nano" en otros muchos contextos que no están necesariamente ligados a la electrónica. Los métodos experimentales y teóricos han avanzado hasta el punto de poder estudiar una cantidad significativa de sistemas físicos cuyo tamaño típico está en el orden del nanómetro. Así tenemos, por ejemplo, los nanotubos de carbono [2] (ver figura 3a) que se caracterizan por sus propiedades elásticas sobresalientes. Dependiendo de cómo se dispongan los átomos de carbono en sus paredes, el nanotubo se comporta como un aislante, un semiconductor, o incluso llega a tener propiedades superconductoras. Sus variadas propiedades lo hacen especialmente bueno para crear sensores de diferentes compuestos, radiaciones y esfuerzos mecánicos. Los átomos de carbono también se organizan en otras estructuras igualmente interesantes desde el punto de vista científico y por sus posibles usos tecnológicos. Tal es el caso de los *fullerenos* y el *grafeno* (ver figuras 3b y 3c). En este último se tiene prácticamente un plano con átomos de carbono dispuestos regularmente. En los *fullerenos* tenemos átomos de carbono formando figuras que recuerdan a un balón de fútbol. Resulta curioso que tanto el diamante como el grafito de los lápices, los nanotubos, los *fullerenos* y el *grafeno*, están compuestos por átomos de carbono. La simple diferencia en cómo se agrupan u organizan hace que estos sistemas exhiban propiedades elásticas, eléctricas y ópticas, entre otras, muy diversas y diferentes, tanto cualitativa como cuantitativamente.

En el ámbito biológico también es de mucha importancia lo que ocurre a la escala nanométrica. Por ejemplo, las macromoléculas sufren alteraciones de este orden cuando participan en reacciones vitales como la fotosíntesis, la replicación del DNA u otras simples reacciones químicas de las tantas que se presentan en los organismos vivos. La comunidad científica ya sueña con nanorrobots que lleven los fármacos a las zonas enfermas del organismo sin dilapidarlos por todo el cuerpo del paciente. Y, como sucede con frecuencia con los avances científicos, se vislumbran aplicaciones en el ámbito militar: mejora del desempeño de máscaras antigases, detección de armas químicas y biológicas, uniformes con prestaciones médicas, sistemas

de comunicaciones integrados a los uniformes, y un largo etcétera.

Estos son apenas algunos ejemplos de los fenómenos y sistemas que estudia la nanociencia. Esta es un área emergente que no puede simplificarse o reducirse a la física, la química o cualquiera de las ciencias convencionales o conocidas. Se ocupa del estudio del mundo a la escala del nanómetro, ya sea de un sistema biológico o de cualquier otra naturaleza. De seguro escucharemos mucho esta palabra en el futuro próximo. Para finalizar, cito al premio Nobel de Física Richard Feynman [3], quien decía:

"Las leyes de la física, hasta donde puedo comprender, no

nos prohíben la posibilidad de manipular la naturaleza átomo por átomo... no es un intento de violar alguna ley; pero en la práctica, no se ha hecho porque somos muy grandes; los problemas de la química y la biología en gran parte se pueden resolver si nuestra habilidad para ver lo que estamos haciendo y para hacer cosas a nivel atómico se desarrolla; un desarrollo que finalmente creo que no puede ser evitado"

Referencias

- [1] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1956/shockley.html.
[2] <http://www.ipt.arc.nasa.gov/carbonnano.html>
[3] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1965/feynman-bio.html

La Delegación Morelos de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C. en conjunto con el Sistema Nacional de Investigación y Transferencia de Tecnológica para el Desarrollo Rural Sustentable, la Universidad Politécnica de Morelos, la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y el Instituto de Biotecnología- UNAM invitan a **maestros del área de ciencias de nivel medio y superior al**

Taller didáctico: DÍA A DÍA APRENDAMOS BIOTECNOLOGÍA

Miércoles 18 de abril de 2012, 9:00 a 14:00 hrs.
Unidad de Docencia 2, Universidad Politécnica de Morelos

Jueves 19 de abril de 2012, 9:00 a 14:00 hrs
Centro de Investigación en Biotecnología, UAEM
Lonario del Instituto de Biotecnología, UNAM

Costo de recuperación: \$50.00

* Cupo limitado. Registro obligatorio.

Se entregará constancia del Sistema Nacional de Investigación y Transferencia de Tecnológica para el Desarrollo Rural Sustentable con valor curricular

y a la presentación del

Espectáculo: SINFONÍA EN ADN MAYOR POR UN PLANETA MEJOR

Viernes 20 de abril de 2012, 12:00 hrs
Auditorio Emiliano Zapata, UAEM Campus Norte
Entrada: \$10.00

Registro para talleres:

Dr. Luis Gerardo Treviño Quintanilla
ltrevino@upemor.edu.mx / tel (777) 229 3533

Dr. Jorge Luis Folch
jordifo@gmail.com / tel (777) 329 7057