

# FUTURO

Hace ahora justo un siglo, en noviembre de 1904, se patentó el diodo de vacío, un invento que abrió la puerta a la era de la electrónica. Después llegaron los transistores y los microprocesadores, con todas sus aplicaciones. Los expertos preparan ya la siguiente revolución en este campo, cuya breve e intensa historia repasa el físico Emilio Méndez.

## DE LOS TUBOS DE VACIO A LOS NANOTUBOS

La electrónica, la tecnología que revolucionó el siglo XX, cumple cien años

EMILIO MÉNDEZ.

Hace poco supe el nombre de una persona a quien debo muchos ratos felices de mi niñez, allá por los años cincuenta: John Ambrose Fleming, profesor del University College en Londres e inventor de la válvula termiónica o diodo de vacío, cuya patente cumplió ayer cien años.

Uno de mis primeros recuerdos es el de mi abuela haciendo punto con unos auriculares de telefonista antigua en los oídos. Los auriculares estaban conectados a un cacharro misterioso que llamaban radio de galena, hecho con una caja de puros y del que salían voces que acaparaban la atención de mi abuela y de las que sólo ella disfrutaba. Por eso, fue una ocasión de júbilo familiar el día que mis padres compraron una caja parlante mucho mayor, que además de no necesitar auriculares contaba historias diferentes sin más que girar una ruedecilla. A partir de ahí, yo visité a diario el mundo mágico de Diego Valor y de Supermán, y seguí las aventuras de Matilde, Perico y Periquín y los personajes de Pepe Iglesias el Zorro. Pasaba un minuto o dos desde que se enchufaba la caja hasta que salía la voz cuando salía, porque había veces en que se había "fundido una válvula" y entonces no se oía nada. He tenido muchas otras radios desde entonces, mejores y más ligeras, pero ninguna me ha sonado tan bien como aquella primera de tubos de vacío.

El diodo inventado por Fleming en 1904 era, en esencia, una bombilla que, además del filamento, tenía un segundo electrodo metálico que actuaba como lo hace una válvula al paso de un líquido: al aplicar a ese electrodo un voltaje positivo con respecto al filamento circulaba una corriente entre los dos, pero ésta cesaba si se invertía el sentido del voltaje. Con este efecto rectificador, el diodo podía captar las señales de radio, sustituyendo así a las inestables puntas metálicas en contacto con un cristal de galena.

Dos años después, el ingeniero estadounidense Lee de Forest añadió al diodo de Fleming un tercer electrodo en forma de rejilla, que, igual que un grifo regula el caudal de agua, era capaz de producir grandes cambios en la corriente con sólo aplicarle un pequeño voltaje. Había nacido el triodo, que además de rectificar, amplificaba señales eléctricas débiles, y que fue decisivo para el desarrollo meteórico de la radio y del teléfono. En 1915 se inauguró el servicio telefónico entre Nueva York y San Francisco (a un precio por minuto equivalente a unos 150 euros de hoy!) y ese mismo año se transmitió la primera conversación entre Washington y París.

Los tubos de vacío dominaron los primeros 50 años de la electrónica, incluyendo la televisión y los ordenadores digitales, aunque ya a finales de los años treinta algunos visionarios intuían la necesidad de reemplazar esos tubos por dispositivos menos frágiles, más pequeños y de funcionamiento más rápido y duradero. La respuesta fue el transistor, inventado en 1947 en Bell

Laboratories. Los primeros transistores, de un material semiconductor llamado germanio, eran difíciles de usar; su funcionamiento era errático y, a ocho dólares cada uno, eran diez veces más caros que los triodos a los que pretendían sustituir. Sin embargo, gracias a los cimientos científicos que se habían puesto, el progreso fue rápido: las primeras radios de transistores aparecieron en 1954, y en 1957 IBM introdujo el primer ordenador transistorizado.

Para entonces, los científicos habían descubierto las ventajas del silicio sobre el germanio, en especial su facilidad para formar un óxido resistente, que resultaría vital para integrar varios transistores en un sustrato único: la gran revolución electrónica estaba en marcha. Los microprocesadores de 1970 tenían alrededor de mil transistores, cada uno diez veces menor que el grueso de un cabello, mientras que el procesador de un ordenador personal actual tiene cerca de 50 millones de transistores y éstos son casi cien veces más pequeños que los de hace 30 años.

Si la miniaturización sigue a este ritmo, y no hay razón para pensar lo contrario, en poco más de diez años aparecerán barreras técnicas y limitaciones físicas infranqueables, pues cuando las dimensiones son unas decenas de nanómetros (un nanómetro es una mil millonésima de metro) los electrones se rigen por las esotéricas leyes de la mecánica cuántica y los transistores convencionales dejan de funcionar. Anticipando el problema, los científicos buscan posibles soluciones, por ejemplo el uso de moléculas orgánicas o de finísimos alambres de carbono llamados nanotubos, que pueden hacer las veces de transistores.

Los nanotubos fueron descubiertos fortuitamente en 1991 por Sumio Iijima, de la compañía japonesa NEC, mientras analizaba con un microscopio electrónico el hollín producido por una descarga eléctrica entre dos electrodos de carbón. Podemos visualizar un nanotubo como una película delgada de grafito larga y estrecha que se ha enrollado por sus extremos más próximos, como se liaban a mano los cigarrillos antiguamente, hasta formar un cilindro hueco de entre uno y tres nanómetros de diámetro. Pese a su parentesco químico con el grafito, los nanotubos tienen propiedades totalmente distintas: son muy tenaces y, sorprendentemente, se comportan como metales o como semiconductores dependiendo de cómo estén enrollados.

Desde 1998, en que aparecieron primitivos transistores que usaban nanotubos como canales para conducir la corriente se ha avanzado deprisa, hasta el punto de haberse conseguido ya circuitos que hacen operaciones lógicas sencillas con un solo nanotubo. Por ahora, fabricar uno de esos circuitos es una tarea tediosa y de resultado incierto; de ahí a preparar circuitos más complejos, de funcionamiento fiable y en grandes cantidades queda mucho trecho. Esta tecnología está aún en una fase comparable a la del silicio a finales de los años cuarenta, aunque si usamos el silicio como guía tenemos razones para ser optimistas sobre su futuro.

Es probable que los nanotubos encuentren antes aplicación comercial en otra área de la electrónica: los monitores de televisión. Hasta ahora, el corazón de un monitor ha sido un enorme tubo de rayos catódicos, otro tipo de tubo de vacío de la época de Fleming, que aún perdura. Explotando la capacidad de los nanotubos para emitir electrones cuando se les aplica un voltaje, varias compañías, con la coreana Samsung a la cabeza, están desarrollando monitores en los que el tubo de rayos catódicos se ha reemplazado por millones de nanotubos, que crean las imágenes en la pantalla cuando los electrones chocan contra ella.

Un monitor de este tipo debería ser plano y ligero, y aventajaría en muchos aspectos a los más recientes del mercado: sus imágenes serían más brillantes y de mejor resolución que los de pantalla de cristal líquido y su consumo de energía menor que los de plasma. A pesar de que quedan por resolver problemas técnicos serios, Samsung confía en tener a la venta monitores con nanotubos en dos años. Sin embargo, a la larga, más aún que las ventajas técnicas, lo que decidirá su éxito o su fracaso será la capacidad para competir económicamente con otras alternativas.

No es fácil imaginarse a un hombre de mediana edad, dentro de 50 años recordando con nostalgia un mundo de transistores, pero, ¿quién sabe?, lo mismo podría haberse pensado en 1950 de un mundo con válvulas de vacío.

**Emilio Méndez** es catedrático de la Universidad del Estado de Nueva York en Stony Brook.

**El País, 17 de noviembre de 2004**