

## Las consecuencias de la electrónica

*Asdrúbal Valencia Giraldo\**

(Recibido el 22 de mayo de 2002)

### Resumen

Se hace un recorrido por el desarrollo de la electrónica, desde finales del siglo XIX, de sus bases físicas, las aplicaciones del tubo de vacío, la radio y la televisión, el desarrollo del transistor, los circuitos integrados, la electrónica digital y la optoelectrónica. Se resalta el impacto científico, tecnológico, económico y social de la electrónica y sus tendencias futuras.

----- *Palabras clave:* electrónica, electrón, tubo de vacío, transistor, circuito integrado, telecomunicaciones, control automático.

## Consequences of electronics

### Abstract

A brief survey is done on the evolution of electronics from the end of XIX century up to the XXI, its physical basis, applications of vacuum tube, radio and TV, the development of transistor, integrated circuits, digital electronics and optoelectronics, to emphasize scientific, technological, economic and social impact of electronics and its future tendencies.

----- *Key words:* electronics, electron, vacuum tube, transistor, integrated circuit, telecommunications, automatic control.

---

\* Ingeniería de Materiales. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia. avalen@udea.edu.co.

## Introducción

El público conoce algunas aplicaciones de la electrónica y sabe que tiene alguna relación con la electricidad, porque los aparatos electrónicos, como el equipo de sonido y el televisor, emplean electricidad. Sin embargo, no todos los aparatos que emplean electricidad son electrónicos. La lavadora, la plancha eléctrica, la televisión y el equipo de sonido, funcionan con electricidad; pero mientras la máquina lavadora y la plancha son aparatos eléctricos, los otros dos son aparatos electrónicos. ¿En qué estriba la diferencia? La respuesta está en el concepto de información.

La electricidad se aprovecha para obtener potencia o energía; así, la plancha es un aparato eléctrico ya que emplea electricidad para producir energía calorífica. De modo similar, la electricidad hace funcionar el motor de la lavadora. Sin embargo, en la electrónica la electricidad se usa para llevar información, la cual puede variar mucho: desde el timbre eléctrico, hasta los complejos sistemas de antenas para captar y emitir señales de comunicación. De tal manera, los dispositivos electrónicos son los que usan electricidad para indicar, mostrar o informar de cualquier modo [1].

La electrónica abarca un espectro excepcionalmente amplio de tecnologías que tienen que ver con el movimiento de los electrones y de su control para fines útiles. El término se aplicó originalmente al estudio del movimiento y el comportamiento de los electrones. Con el tiempo ha llegado a usarse en su sentido más amplio, debido a los avances en el conocimiento de la naturaleza fundamental de los electrones y de la manera como su movimiento se puede utilizar. En la actualidad, muchas disciplinas científicas y técnicas —incluyendo la física, la química, la matemática y las ingenierías eléctrica y electrónica— tienen que ver con diferentes aspectos de la electrónica.

La investigación en estas áreas ha dado como resultado el desarrollo de dispositivos clave como los transistores, los circuitos integrados, los láseres y las fibras ópticas. Éstos, a su vez, han hecho posible la fabricación de un amplio surtido de productos electrónicos, para el hogar, la oficina, la industria y el campo militar. Tales productos van desde los teléfonos celulares hasta las videograbadoras de alto desempeño, los supercomputadores y los sistemas de armamento muy complejos.

A mediados de la década de 1980 la electrónica había llegado a ser la mayor industria manufacturera en los Estados Unidos y Japón, y en las naciones industrializadas de Europa también han prosperado florecientes industrias electrónicas, mientras que varios países en vía de desarrollo —incluyendo a Corea del Sur, Taiwan, Brasil, Israel y Yugoslavia— también han experimentado avances significativos.

El impacto de la electrónica en la vida moderna ha sido muy penetrante. Se puede decir que el mundo está en medio de una revolución electrónica, tanto o más significativa que la revolución industrial del siglo XIX.

El comienzo del siglo XX fue testigo de dos notables avances en la física que, sumados, equivalían a una revolución científica. En 1901, el físico alemán Max Planck (1858-1947) enunció su teoría cuántica. Sin embargo, para el público general fue más conocida la teoría de la relatividad especial, publicada por Albert Einstein (1879-1955) en 1905. La evidencia de esto es visible en todas partes.

La teoría cuántica y la relatividad no encontraron aplicaciones prácticas durante muchos años, pero suscitaban gran interés público y una auténtica industria hizo acto de presencia para satisfacer la demanda de explicaciones sencillas. Paralelo a ello, sin duda el acontecimiento industrial y tecnológico más notable, y, probablemente

te, más importante del primer tercio del siglo XX, fue el rápido crecimiento de la industria radiofónica y la tecnología electrónica sobre la que se sustentaba.

### El tubo de vacío

Aunque muchos pioneros de la física del siglo XIX estaban convencidos de que la corriente eléctrica consistía en un flujo de partículas de carga, no se comprendía la naturaleza de esas cargas. Incluso, la cuestión básica de si la carga de las partículas era positiva o negativa permanecía indeterminada. Las respuestas a estas incógnitas, y a la estructura básica de la materia, fueron halladas con experimentos que empezaron con el estudio de las descargas eléctricas en tubos de vacío.

William Crookes (1832-1919) con sus estudios de las descargas eléctricas en gases allanó el camino a Pluecker y Hittorf, quienes desarrollaron el tubo de rayos catódicos, y con sus observaciones de estos rayos y el espacio oscuro en el cátodo, llevaron al descubrimiento del electrón y de los rayos X. El primer oscilógrafo basado en el tubo de rayos catódicos fue presentado por Karl Ferdinand Braun (1850-1918) profesor de la Universidad de Strasburgo, quien, aunque poco recordado, hizo varias contribuciones importantes en el campo de los rectificadores y las antenas. Braun recibió el Premio Nobel en 1909, junto con Guillermo Marconi.

El envío de señales mediante ondas de radio alcanzó su punto culminante el 12 de diciembre de 1901, cuando Marconi emitió ondas de radio desde el extremo sudoeste de Inglaterra utilizando globos para elevar su antena lo más alto posible. Las señales fueron recibidas en Terranova. Ese día suele considerarse el de la invención de la radio, y a Marconi se le reconoce como el inventor.

La historia de la electrónica empieza a separarse de la correspondiente a la electricidad a fines del siglo XIX, con la identificación del electrón por el físico inglés Joseph John Thomson (1856-

1940) y la medida de su carga eléctrica por el físico estadounidense Robert A. Millikan (1868-1953) en 1909. Thomson, hijo de un librero de Manchester, llegó a ser miembro de la Royal Society a la edad de veintiocho años y fue nombrado para la Cátedra de Física en el Laboratorio Cavendish. Su gran descubrimiento ocurrió en 1897, cuando hacía investigaciones con los tubos catódicos. Thomson logró evidencia convincente de que los rayos consistían en partículas cargadas; midió la relación entre la carga y la masa y fue capaz de estimar que la masa era igual a 1/1800 de la masa del hidrógeno. Ganó el premio Nobel en 1906.

Robert A. Millikan fue profesor en la Universidad de Columbia y luego en la de Chicago y se inició como investigador cuando tenía cuarenta años. Entonces, en 1906, empezó a idear una serie de mejoras al experimento de Thomson, lo cual llevó a su aparato de la gota de aceite en el cual midió la carga del electrón de una manera concluyente. Sus resultados fueron publicados en 1910 y así se disipó la última resistencia a la teoría atómica de la materia. En 1914 ganó el premio Nobel.

Antes de que Thomson desarrollara su trabajo, William Hammer, uno de los ingenieros del inventor estadounidense Thomas Alba Edison había observado una descarga luminiscente azul en algunos de sus primeros bombillos, bajo ciertas condiciones, y encontrado que en la lámpara la corriente de un electrodo fluía hacia el otro si el segundo (ánodo) se cargaba positivamente con respecto al primero. Esto se denominó *efecto Edison*; es decir, la aparición de una corriente que fluía entre un cátodo caliente y un ánodo, en un tubo al vacío. El efecto permaneció como un misterio durante quince años hasta el descubrimiento del electrón [2].

En 1904 el ingeniero británico John Ambrose Fleming (1849-1945) estudió el efecto Edison y observó el paso de corriente de un filamento caliente a una placa fría, introducidos en una vasija de vidrio al vacío. Se dio cuenta de que la corriente eléctrica sólo circulaba a través del espa-

cio de separación si el filamento caliente era el electrodo negativo (cátodo) y la placa fría, el ánodo. Los electrones podían pasar del filamento a la placa, pero, si se invertía la corriente, no tenían suficiente energía para pasar de la placa al filamento. Si se hacía circular una corriente alterna a través del recipiente, el ánodo y el cátodo cambiaban de lugar muchas veces por segundo, y se producía un chorro de electrones cada vez que el filamento era el cátodo, pero ninguno cuando funcionaba como ánodo. La corriente funcionaba, en efecto, como alterna, pero sólo discurría en una dirección, como si fuera corriente continua, aunque el flujo se hiciera con breves impulsos.

De esta manera, el recipiente que contenía el filamento y la placa actuaban como un rectificador electrónico, porque permitía a la electricidad seguir una sola dirección. Fleming la llamó válvula, denominación suficientemente descriptiva. Como el recipiente tenía forma de tubo, en Estados Unidos se le llamó tubo, que no da una idea de su función. También puede llamarse diodo porque contiene dos electrodos [3].

Cuando la radio estaba en su infancia, se utilizaban cristales como rectificadores que permitían a la corriente alterna fluir en una sola dirección. Esos receptores de galena eran muy rudimentarios, por lo que fueron reemplazados por aparatos provistos de *tubos*.

Este descubrimiento proporcionó ímpetus al desarrollo de tubos, incluyendo una versión mejorada del tubo de rayos X. El rectificador de Fleming fue el primero de una larga serie de tubos de radio que permitieron a los dispositivos electrónicos funcionar. Durante cuarenta años los tubos se usaron en muchos aparatos electrónicos, incluidos los primeros computadores.

En 1906 Lee De Forest, un ingeniero estadounidense, desarrolló un tubo que era capaz de amplificar las señales de radio. De Forest añadió una rejilla de alambre fino entre el ánodo y el cátodo de un diodo de Fleming. El nuevo aparato,

que De Forest llamó Audion, era entonces un tubo de vacío de tres electrodos. En operación, al ánodo se le da un potencial positivo (sesgado positivamente) con respecto al cátodo, mientras la rejilla se sesga negativamente. Un sesgo negativo elevado impide que los electrones emitidos por el cátodo puedan llegar al ánodo; sin embargo, como la rejilla es sobre todo espacio abierto, permite que algunos electrones pasen a su través y alcancen el ánodo a un sesgo negativo menor. Así, pequeñas variaciones del potencial de la rejilla controlan grandes cantidades de corriente anódica. En 1912 concibió la idea de poner varios triodos en serie para lograr una elevada amplificación.

Edwin Howard Armstrong (1890-1954) era un estudiante de ingeniería en la Universidad de Columbia en 1912 cuando inventó la retroalimentación regenerativa y los osciladores electrónicos. Aunque una demanda de De Forest hizo que las cortes se los atribuyeran, los ingenieros siguen considerando a Armstrong como su inventor.

La primera mitad del siglo XX fue, en electrónica, la era de los tubos. Esta variedad de tubos electrónicos permitió el desarrollo de la radiofonía, la telefonía de larga distancia, la televisión y los primeros computadores digitales. El famoso ENIAC (Electronics Numerical Integrator Calculator, completado en 1946), estaba equipado con 17.468 tubos [4].

## Radio y televisión

La transmisión de la voz mediante un transmisor de chispa fue demostrada por Reginald Aubrey Fessenden (1866-1932) en 1900, pero era demasiado ruidosa. Hasta 1916 el manejo de un aparato de radio era una operación más bien complicada, que debía dejarse al cuidado de los ingenieros especialistas. Pero, en 1917, mientras estaba en la armada, Armstrong (1890-1954) elaboró un sistema para bajar la frecuencia de las ondas electromagnéticas y luego amplificarlas. Llamó a su invento receptor heterodino.

Louis Alan Hazeltine (1886-1964), del departamento de ingeniería eléctrica del Stevens Institute of Technology, diseñó un receptor de radio para la Armada de Estados Unidos durante la Primera Guerra Mundial. En 1922, inventó el receptor “neutrodino” para eliminar aún más los ruidos de la radio.

La instalación de los anteriores dispositivos en los aparatos de radio facilitó su uso. Todo lo que se precisaba para obtener una buena recepción era girar un disco, con lo cual se transfería la recepción de una longitud de onda a otra. Cuando este invento se adoptó ampliamente, los radiorreceptores pudieron ser manejados por cualquiera; de este modo entraron en el hogar y se convirtieron en un vehículo de información y entretenimiento masivo.

“I have in mind a plan of development which would make radio, a house utility in the same sense as a piano or a phonograph. The idea is to bring music into the home by wireless transmission”. El autor de esta frase era un tal David Sarnoff, un judío de origen ruso nacionalizado en los Estados Unidos, que siendo radiotelegrafista en una compañía privada obtuvo una gran popularidad por ser uno de los operadores que captó el SOS del Titanic. Con el tiempo, llegaría a ser presidente de la RCA y de él fue la idea de llevar a todos los hogares un aparato que bautizaría como “Radio Box Music”.

En la década de 1930, casi todos los hogares de los países industrializados poseían un aparato de radio. Para que esto llegara a ser posible, se creó una gran industria manufacturera que exigía nuevas cualificaciones. Y, para garantizar la mejora continua de los receptores radiofónicos, una nueva clase de tecnólogos, reclutados en parte entre los físicos y, en parte, entre los ingenieros electricistas, realizó amplias investigaciones y procesos de desarrollo. Surgieron los ingenieros electrónicos, y la electrónica fue una profesión, una industria fundamental, que avanzó vertiginosamente en el siglo XX.

Los pioneros de la televisión fueron los rusos; Nipkov quien inventó un disco explorador mecánico rotativo en 1884 y Rosing, que usó un tubo de rayos catódicos en 1907 para mostrar imágenes de un transmisor mecánico. John Logie Baird (1888-1946), un ingeniero escocés, empezó a trabajar en la televisión, basado en el disco de Nipkov, hacia 1920. En 1926 mostró el primer televisor. Luego, introdujo el sonido estéreo y el color y grabó las señales de video en discos. De 1929 a 1935, la BBC usó la televisión mecánica; al final de este periodo compartió el tiempo con los sistemas electrónicos.

Philo Taylor Farnsworth (1906-1971), era un estudiante de quince años en Rigby, Idaho, cuando en 1922 inventó un sistema de televisión electrónico y se lo explicó a su profesor de química. En 1926, a la edad de veintinueve años, recibió algún apoyo y formó una compañía para desarrollar la televisión. Para 1927 había obtenido las primeras patentes y logró apoyo de un grupo de banqueros de San Francisco para mostrar la primera imagen de televisión electrónica. Su éxito fue anunciado en 1928 y la primera demostración pública ocurrió en 1934, y para 1936 su estudio estaba emitiendo para unos cincuenta receptores hogareños en Filadelfia. Los próximos años fueron una odisea de litigios, pues la RCA trataba de abrir las patentes de Farnsworth que bloqueaban los tubos cinetoscopio y othicon. Las patentes de Farnsworth fueron protegidas repetidamente y, en 1939, la RCA llegó a un acuerdo para pagar regalías a la compañía de Farnsworth.

Otro gran pionero de la televisión fue Vladimir Kosma Zworin (1889-1982) quien se educó en Rusia y Francia y prestó servicio durante la Primera Guerra Mundial en el Cuerpo de Señales del Ejército Ruso. Después de la guerra emigró a Estados Unidos e inicialmente trabajó para la Westinghouse Electric Corporation donde, en 1923, solicitó una patente para el iconoscopio, una cámara electrónica de tubo que usaba un arreglo foto-emisivo. Sin embargo, apenas en

1929 la RCA le ofreció la oportunidad de seguir trabajando en televisión. El iconoscopio de Zworkin condujo a las modernas cámaras de televisión y su cinetoscopio fue la base del moderno tubo de imagen del televisor. La parte posterior del iconoscopio estaba cubierta de finas bolitas de cesio y plata. Cada una de ellas emitía electrones cuando era barrida por un rayo luminoso, en proporción con el brillo de la luz. Los electrones en el tubo de la televisión eran controlados por los electrones del iconoscopio, de manera que la pantalla mostraba la misma escena que entraba en el iconoscopio [5].

La televisión era entonces una realidad experimental, pero los métodos para producir imágenes en una pantalla eran demasiado rudimentarios y excesivamente caros para que el uso de este medio se generalizara. En 1947 ya se pudieron fabricar televisores razonablemente aptos para los hogares. Las pantallas eran al principio pequeñas y borrosas, y eran muy pocos los programas disponibles. Los perfeccionamientos y las transformaciones llegaron a pasos agigantados, y en pocos años la televisión alteró el concepto de ocio doméstico, del espectáculo e incluso de la política.

Así pues, aunque la televisión sólo se popularizó en Estados Unidos después de la Segunda Guerra Mundial, ya antes se estaban desarrollando métodos de transmisión a todo color. En 1940, el ingeniero estadounidense de origen húngaro Peter Carl Goldmark (1906-1977), fue el primero en poner a punto un sistema con ese fin, utilizando un disco rotativo tricolor. Al final el método no fue aplicado, pues otros más efectivos se comercializaron unos catorce años después.

Los tubos electrónicos son frágiles y se consumen en servicio. El fallo ocurre con el uso normal, sea por los efectos del calentamiento y el enfriamiento repetidos cuando el aparato se prende y apaga (fatiga térmica), que finalmente causa una fractura física en alguna parte interior de la estructura del tubo, o por degradación de las propiedades del cátodo, causada por los gases

residuales. Los tubos también toman algún tiempo para calentarse (desde unos segundos hasta varios minutos) hasta una temperatura operativa. Esto es un inconveniente y en algunos casos una seria limitación para su uso. Esos impedimentos llevaron a los científicos de los Laboratorios de la Bell Telephone a buscar una alternativa para el tubo, y al desarrollo del transistor.

### **El transistor y la revolución del estado sólido**

En el mes de septiembre de 1924, un boletín interno de la A.T & T. notificaba la creación de un nuevo organismo dentro de la compañía, bajo el nombre de Bell Telephone Laboratories. Sus fines se circunscribían en torno a la investigación y el desarrollo, y bajo su tutela se realizarían los más grandes descubrimientos de la electrónica en el segundo tercio del siglo XX.

La invención del transistor en 1947, por John Bardeen (1908), Walter H. Brattain (1902-1987) y William B. Shockley (1910), investigadores de la Bell, proporcionó la primera de una serie de nuevos recursos con notable potencial para expandir la utilidad del equipo electrónico. Los transistores, junto con desarrollos subsiguientes como los circuitos integrados, están hechos de materiales sólidos cristalinos llamados semiconductores, los cuales tienen propiedades eléctricas que se pueden variar sobre un intervalo extremadamente amplio mediante la adición de minúsculas cantidades de otros elementos. La corriente en un semiconductor es llevada por los electrones, que tienen carga negativa, y también por huecos, entidades análogas que llevan carga positiva. La disponibilidad de las dos clases de portadores de carga en los semiconductores es una propiedad muy valiosa, que se explota en muchos aparatos hechos de tales materiales.

Como se ha dicho, estos semiconductores eran sólidos (de ahí que se hable de dispositivos de estado sólido) y no requieren vacío, de manera que podían ser muy pequeños. No necesitaban ser sustituidos como los tubos, gastaban poca

energía y no precisaban de calentamiento previo, con lo que su calentamiento era inmediato. El ingeniero electricista estadounidense, John Robinson Pierce, sugirió el nombre de transistor, porque transmitía la corriente a través de un resistor.

Los primeros transistores se producían con el uso del germanio como material semiconductor, debido a que los métodos para purificarlo hasta el grado requerido habían sido desarrollados durante la Segunda Guerra Mundial. Dado que las propiedades eléctricas de los semiconductores son extremadamente sensibles a la presencia de la más ligera traza de otros elementos específicos, sólo cerca de 1 parte por 1.000.000.000 de tales elementos se puede tolerar en el material que se usa para hacer semiconductores.

Durante la década de 1950 la investigación sobre la purificación del silicio tuvo éxito y se logró refinarlo para su utilización como material para semiconductores, así, desde 1960, se empezaron a fabricar nuevos aparatos hechos con silicio. El silicio se constituyó rápidamente en el material preferido como materia prima porque es mucho más abundante que el germanio y es intrínsecamente menos caro. Además, el silicio retiene sus propiedades semiconductoras a temperaturas más elevadas que el germanio. Por esta razón, los diodos de silicio se pueden operar hasta 200 °C, mientras que los diodos de germanio no se pueden usar a más de 85 °C [6].

Hay otra propiedad importante del silicio, que no fue apreciada en aquel tiempo, pero que demostró ser crucial en el desarrollo de transistores baratos y circuitos integrados: el silicio, a diferencia del germanio, cuando se calienta a temperatura elevada en presencia de oxígeno forma una película de óxido tenaz y adherente con excelentes propiedades de aislamiento eléctrico. Esta película se usa extensivamente como una máscara, que permite introducir las impurezas que modifican las propiedades del silicio durante la manufactura de los semiconductores. El diseño de la máscara, formada con un proceso fotolitográfico, permite la creación de transisto-

res minúsculos y de otros componentes electrónicos en el silicio.

## El circuito integrado

Hacia 1960 los tubos de vacío se estaban reemplazando rápidamente por los transistores que ya tenían una docena de años de existencia, porque éstos se habían vuelto menos costosos, no se quemaban en el aparato, eran mucho más pequeños y más confiables. Los computadores utilizaban centenares de miles de transistores en cada uno. Este hecho, junto con la necesidad de sistemas electrónicos, compactos y livianos, para dirigir los misiles, llevaron a la invención independiente del circuito integrado (CI), por Jack Kilby de la Texas Instrument Incorporated, en 1958, y por Jean Hoerni y Robert Noyce de la Fairchild Semiconductor Corporation en 1959. A Kilby se le acredita usualmente haber desarrollado el concepto de integrar el aparato y los elementos del circuito en una sola hojuela o pastilla —*chip*— de silicio, mientras que a Noyce se le acredita haber concebido el método de integrar los elementos separados.

Es decir, el tamaño de los transistores era tan pequeño que carecía de sentido manejarlos como unidades separadas; en lugar de ello, lo que los inventores lograron fue que se grabaran como transistores diminutas piezas de fino silicio o de algún otro semiconductor, de unos milímetros cuadrados. Estas pastillas hacían el trabajo de muchos transistores y se denominaron, como se anotó, circuitos integrados (CI).

Los CI iniciales contenían unas diez componentes individuales en un chip de silicio de milímetros cuadrados. Para 1970 el número era hasta de mil en un chip del mismo tamaño sin aumentar el costo. Al final del año siguiente se introdujo el microprocesador. El dispositivo contenía toda la circuitería requerida para realizar las operaciones aritméticas, lógicas y de control en la unidad central de proceso de un computador. Este tipo de CI de gran escala fue desarrollado por un equipo de investigadores de la Intel Corporation, la misma compañía que introdujo el circuito inte-

grado de memoria en 1971. Así, el escenario estaba listo para la computarización de pequeños equipos electrónicos.

Hasta que el microprocesador apareció en escena, los computadores eran esencialmente equipos discretos, usados primariamente para procesar datos y hacer cálculos científicos. En tamaño variaban desde los minicomputadores, comparables en tamaño a un horno de microondas, hasta los computadores grandes que podían llenar el espacio de un salón. El microprocesador permitió a los ingenieros desarrollar microcomputadores —del tamaño de una tostadora— pero con suficiente poder de cálculo como para realizar muchas tareas de negocios, industrias y ciencia. Tales sistemas hicieron posible el control de un gran número de pequeños aparatos e instrumentos (v.g. tornos de control numérico o robots de un brazo para soldadura de punto), usando componentes estándar programadas para un trabajo específico. La existencia misma de esos computadores dentro de los aparatos no es perceptible para los usuarios [7].

### La electrónica digital

Se han mencionado formas de comunicación digital, que surgieron de la manera como funcionan los computadores; es decir, mediante representación digital de los números. Los computadores sólo entienden el 1 y el 0 y hacen todas sus operaciones de modo binario. Muchos aparatos eléctricos y electrónicos tienen dos estados: están encendidos o apagados. Un interruptor de la luz es un ejemplo familiar, como lo son los tubos de vacío y los transistores. Como los computadores han sido desde el comienzo la mayor aplicación de los circuitos integrados, los CI digitales se han hecho comunes. Así, ha sido fácil diseñar sistemas electrónicos que usan lenguaje digital para controlar sus funciones y comunicarse con otros sistemas.

Una gran ventaja de los métodos digitales es que se puede verificar la corrección de una corriente de señales digitales y, si es necesario, se puede rectificar. En contraste, las señales que varían

en proporción a, digamos, el sonido de una orquesta, pueden ser degradadas por el “ruido”, que, una vez presente, es muy difícil de remover. Un ejemplo es el sonido de un disco de vinilo, que siempre contiene un ruido externo proveniente del surco grabado, aunque el disco sea nuevo. El ruido se hace más pronunciado con el desgaste. Esto contrasta con el sonido de un disco digital compacto, donde no se escucha ningún sonido que no estuviera presente en el estudio de grabación. El disco y el aparato reproductor contienen características de corrección de errores que remueven los pulsos incorrectos (por ejemplo de la suciedad sobre el disco) de información a medida que ésta se lee del disco.

A medida que los sistemas electrónicos se hacen más complejos, es esencial la remoción de los errores producidos por el ruido, de otra manera los sistemas operarán mal. Se requiere que muchos sistemas electrónicos operen en ambientes ruidosos, como en un automóvil. La única manera de asegurar la inmunidad contra el ruido es hacer que tales sistemas operen digitalmente. Aunque eso puede no ser suficiente, pues los procedimientos de corrección de errores tienen límites. En principio, es posible corregir cualquier número de errores, pero en la práctica no es posible. La cantidad de información extra que se debe manipular para corregir grandes tasas de errores, reduce la capacidad del sistema para manejar la información deseada, y es necesario hacer compromisos.

Una consecuencia de la explosión de la cantidad y la variedad de los sistemas electrónicos ha sido el agudo crecimiento de los niveles de ruido en el ambiente. Cualquier sistema eléctrico genera ruido, y todos los sistemas electrónicos pueden ser perturbados por el ruido. Por ello, hay que controlar la cantidad de ruido que se emite y hay que blindar los sistemas contra aquél [8].

### La optoelectrónica

Hay muchos semiconductores diferentes del silicio y el germanio, que tienen diferentes propiedades útiles. Los compuestos formados por los



elementos de la columna III de la tabla periódica, como el aluminio, el galio y el indio, con aquellos de la columna V, como fósforo, arsénico y antimonio, son de interés particular. Estos, denominados compuestos III-V, se usan para fabricar dispositivos semiconductores que emiten luz eficientemente o que operan a frecuencias excepcionalmente elevadas.

En 1955 los físicos predijeron todas las ventajas del arseniuro de galio, GaAs, si se podía producir suficientemente puro, aunque una característica sobresaliente de esos compuestos es que pueden, efectivamente, mezclarse unos con otros. Se puede producir arseniuro de galio, o sustituir algo del galio con aluminio, o algo del arsénico con fósforo. Cuando se hace esto, las propiedades eléctricas y ópticas del material se cambian sutilmente de una manera continua, en proporción a la cantidad de aluminio o fósforo usada.

A principios de 1960 estaba disponible comercialmente un GaAs puro, que contenía algún fósforo. Comparado con el silicio era muy caro, pero formaba diodos que brillaban. Así nació la industria de los relojes digitales y las calculadoras.

Pronto fue posible fabricar transistores de GaAs sin fósforo, pero no se pudieron hacer circuitos integrados hasta fines de la década de 1979, cuando se desarrollaron métodos para refinar los semiconductores. Además, todos estos compuestos tienen la misma estructura cristalina y ello hace posible la gradación de la composición y, por tanto, de las propiedades, del material semiconductor dentro un cuerpo cristalino continuo. Las modernas técnicas de procesamiento de materiales permiten controlar con precisión esos cambios de composición a escala atómica [9].

Esas características se explotan al fabricar láseres semiconductores, que producen luz de cualquier longitud de onda dentro de un espectro considerable. Tales láseres se usan, por ejemplo, en reproductores de discos compactos digitales y como fuentes de luz para comunicaciones por fibra óptica.

Una nueva dirección de la electrónica, curiosamente no hace uso de los electrones sino que emplea fotones (paquetes de luz). Por sentido común, estos nuevos enfoques se incluyen en la electrónica debido a que las funciones realizadas son, hasta el presente, las mismas que llevan a cabo los sistemas electrónicos y porque tales funciones están comúnmente embebidas en un ambiente mayoritariamente electrónico. Esa nueva dirección se llama electrónica óptica u optoelectrónica.

En 1966 se propuso, sobre bases teóricas, que las fibras de vidrio se podían hacer con tal pureza que la luz podría viajar grandes distancias a través de ellas. Tales fibras fueron producidas a principios de la década de 1970 y contenían un núcleo central por donde viajaba la luz. El recubrimiento exterior es un vidrio de diferente formulación química y tiene un índice de refracción menor. Esta diferencia en índice de refracción hace que cualquier luz que tienda a escapar hacia el forro pronto sea reflejada, de esta manera la luz puede seguir la fibra por curvas y rincones. Con el uso de láseres, esa luz puede modularse fácilmente como corriente eléctrica, de modo que las ondas sonoras pueden convertirse en luminosas variando su amplitud, y en el otro extremo convertirse en sonoras.

La fibra óptica al reemplazar el costoso cobre por el vidrio, más barato, y usando las diminutas ondas luminosas, que pueden acarrear enormes cantidades de información, se vio inmediatamente como algo que encerraba un potencial enorme para la ampliación de las comunicaciones. Las principales ventajas de la fibra óptica con respecto al cobre son que puede portar información a una velocidad mucho más elevada, ocupa menos espacio y es muy insensible al ruido eléctrico. Mas aún, es virtualmente imposible hacer con ella conexiones no autorizadas. Éstas y otras propiedades han hecho que el avance de la optoelectrónica haya sido acelerado.

Otra dirección de la optoelectrónica ha sido construida en parte sobre lo anterior pero con un fin diferente. Un problema clave para el desarrollo

de computadores y de circuitos integrados más rápidos, está relacionado con el tiempo que requieren las señales eléctricas para viajar por las conexiones de alambres. Esto es un problema tanto dentro de los circuitos como en las conexiones entre ellos. Bajo las mejores condiciones las señales eléctricas pueden viajar al noventa por ciento de la velocidad de la luz. Una tasa más usual es de 50%. La luz, rápida como es, viaja treinta centímetros en una millardésima de segundo. Los supercomputadores modernos operan a velocidades superiores a un millardo de operaciones por segundo. Entonces, si las dos señales empiezan simultáneamente desde diferentes lugares y deben llegar a su destino al mismo tiempo, las trayectorias que viajan no deben diferir en longitud más que en unos pocos centímetros.

Se pueden visualizar dos soluciones. En una, todos los circuitos integrados se ponen tan cercanos como sea posible para minimizar las distancias que deben viajar las señales. Esto origina el problema de enfriarlos porque los circuitos generan calor. En otro enfoque, todas las trayectorias se hacen iguales a la más larga. Esto requiere el uso de mucho más alambre y se ocupa más espacio.

Como los computadores trabajan cada vez más rápido, ninguna de las dos soluciones trabajará, y se deben usar técnicas radicalmente diferentes. La comunicación óptica es una de las respuestas y en la actualidad los equipos basados en la optoelectrónica están invadiendo el mercado.

### **Tendencias y consecuencias de la electrónica**

En el pasado, los microprocesadores se producían como dispositivos estándares; ahora, una tendencia creciente es hacer sobre medida tales diseños, para aplicaciones específicas. Incluso, algunos microprocesadores tienen una memoria que se puede programar en el momento de la fabricación para proporcionarle propiedades definidas al dispositivo. Estos microprocesadores

hechos a la medida son ahora comunes en muchos aparatos e instrumentos.

En el ámbito de la electrónica la miniaturización es una obsesión, pues continuamente se busca multiplicar la eficacia de los mecanismos a la vez que se reduce de tamaño. La progresión es tan veloz que no pasan muchos meses antes de que cada hazaña quede anticuada y se consigan mayores prestaciones en espacios cada vez más reducidos.

Ahora se está dando el paso de la microelectrónica a la nanoelectrónica. Micro y nano son dos prefijos utilizados en metrología que significan *millonésimas* y *milmillonésimas* respectivamente. Se trata de un salto significativo, ya que supondría ubicarse prácticamente en los límites teóricos de las posibilidades de miniaturización, si se tiene en cuenta que los átomos miden entre 0,1 y 0,4 nanómetros. A estas escalas se producen efectos cuánticos que pueden perturbar el funcionamiento de un microprocesador construido con semiconductores como los actuales, pero aparece ya en el horizonte la posibilidad de emplear partículas subatómicas en lugar de átomos y moléculas, que aunque sujetas también (con más intensidad incluso) a fenómenos cuánticos, podrían emplearse de forma diferente para conseguir similares resultados [10]. De acuerdo con el presidente de Intel, Andrew Grove, para el año 2011 las pastillas de microprocesador contendrán un millardo ( $10^9$ ) de transistores, o sea cien veces más que en la actualidad [11].

Otro camino seguido por la electrónica es el uso de superconductores, sin embargo las dificultades técnicas en este campo son todavía formidables y el computador basado en microcircuitos superconductores es todavía un proyecto a largo plazo.

Todos estos desarrollos científicos y tecnológicos desembocan en productos y procesos electrónicos nuevos, que van desde las aplicaciones domésticas hasta el perfeccionamiento de los viajes espaciales. En el caso de los hogares, una de las aplicaciones más próximas será la conjunción del televisor, el computador y la realidad vir-

tual. En el laboratorio ya existen instalaciones de realidad virtual, donde uno entra y se pone un par de anteojos gruesos con lentes que alternan entre lo opaco y las escenas; el salto es tan rápido que no se ve. Cada lente muestra alternativamente una perspectiva ligeramente distinta de una escena, de modo que se ve en tres dimensiones, y la escena puede ser la que uno quiera. O al menos, la que esté en las bases de datos, que actualmente muestran desde el interior de una explosión nuclear hasta el nacimiento de un bebé.

Esto todavía es un poco burdo para uso doméstico, pero es apenas el comienzo; la visión de la realidad virtual es una probabilidad cercana. Cualquier aparato será operado por la voz, pero cuando se quiera usar el computador no se tendrá que buscar un teclado o un *ratón*. Se portará con uno mismo todo el tiempo pues los computadores para llevar puestos son ya una realidad. Los computadores desaparecerán porque serán muy pequeños y estarán fuera de la vista. Muy pronto, sin perder ninguna de las posibilidades del computador actual, éste será descartado por pesado y engorroso [12].

Es posible que la nevera sea muy pronto el centro de control de la casa inteligente, porque una pantalla de contacto ubicada en la puerta mostrará los videomensajes que han dejado los miembros de la familia. Tocando con los dedos los íconos de la pantalla, se podrán encender o apagar otros aparatos del hogar, subir o bajar la temperatura, asegurar las puertas en forma remota y ver los alrededores de la casa mediante videocámaras web.

En los ratos libres, la nevera también mostrará un inventario de los alimentos que tiene, y comprará en línea los que hagan falta, pues obviamente estará conectada a Internet.

Ejemplos de este tipo de tecnología ya existen y están funcionando en Creative World, una casa futurista que tiene la empresa Ericsson en Estocolmo, lo mismo que en el Hogar de Internet, de Cisco Systems y en el Hogar Virtual que Microsoft tiene en Seattle [13, 14].

Los dormitorios también serán automáticos y con el toque de un ícono se podrán controlar las luces, los teléfonos, las persianas, las alarmas, la unidad de información, el clima, etc. Habrá en ellos máquinas de dormir y despertadores inteligentes [15].

Todo lo anterior, sin hablar de las otras áreas donde la electrónica es definitiva, como la educación, la salud, las comunicaciones, el transporte, el placer y la recreación, la economía, la guerra, la tecnología y la ciencia. Hablar del influjo de la electrónica en estos campos o tratar de hacer predicciones escapa a los propósitos de este trabajo, que sólo quiere puntualizar algunas de las consecuencias de la electrónica. Una de ellas es aprender a vivir en la aldea global. La habilidad que tiene la tecnología de la información de traer el resto del mundo a nuestros hogares nos ha hecho más conscientes de las modas y preferencias de otros, pero también de sus pasiones y empeños. Junto con esta conciencia se profundizará el sentido de que se debe *pensar y actuar globalmente*.

Todo este proceso comunicativo empezó con Gutenberg y aunque el progreso de la reproducción impresa era lento, fue constante, y culmina —entre los siglos XVIII y XIX— con la llegada del periódico. Al mismo tiempo, desde mediados del XIX comienza un nuevo y diferente ciclo de avances tecnológicos. En primer lugar la invención del telégrafo, después del teléfono. Con estos dos aparatos desaparecería la distancia y empezaba la era de las comunicaciones inmediatas. La radio, que también eliminaba distancias, añade un nuevo elemento: una voz fácil de difundir en todas las casas. La radio es el primer gran difusor de comunicaciones; pero un difusor que no menoscaba la naturaleza simbólica del hombre. Ya que, como la radio *habla*, difunde siempre cosas dichas con palabras. De modo que libros, periódicos, teléfono, radio, son todos ellos —en concordancia— elementos de comunicación lingüística.

La ruptura se produce con la llegada del televisor y la televisión, que llevan ante los ojos de un

público de espectadores cosas que pueden ver en cualquier sitio, desde cualquier lugar y distancia. Y en la televisión el hecho de ver prevalece sobre el hecho de hablar y, como consecuencia, el telespectador es más un animal vidente que un animal simbólico; es decir, hace que el *Homo sapiens* esté más cerca de sus capacidades ancestrales, donde cuenta más lo que se ve que lo que se representa en imágenes.

Sin embargo, si la televisión nos muestra imágenes de cosas reales, o sea que es fotografía y cinematografía de lo que existe, el computador enseña imágenes imaginarias. La realidad virtual es una irrealidad que se ha creado con la imagen y que es realidad sólo en la pantalla. Lo virtual y las simulaciones amplían desmesuradamente las posibilidades de lo real; pero no son realidades [16].

Por un lado, hay quienes preconizan que el potencial de creatividad de las nuevas tecnologías comunicativas está al servicio del control estricto de las poblaciones. Lo que se anuncia como *cambios revolucionarios* inducidos por la nueva sociedad de la comunicación no irán a menudo, para las grandes masas, más allá de una nueva oferta televisiva determinada por los poderes que rigen las comunicaciones. De otra parte, los filósofos y ensayistas más avanzados afirman que la nueva sociedad de la comunicación crea las condiciones ideales para que sus miembros se singularicen como individuos y personas libres.

El problema con este último aserto es que sólo las personas e individuos libres, ya formados, podrán constituir y dar verdadero sentido a la nueva sociedad, aquella basada en *telecasas activas*, esto es, en los ya mencionados hogares informatizados y conectados a Internet, permanentes emisores y receptores de mensajes, capaces por tanto de relacionarse libre e igualitariamente entre sí y de controlar puntual y continuamente a los depositarios de la autoridad. Pero esos individuos sólo son posibles si existe la infraestructura de telecomunicaciones de la nueva tecnópolis. Esta paradoja es apenas

una de las muchas que plantea esta nueva sociedad [17].

La contradicción se puede expresar pues, como la posibilidad de alto grado de descentralización, pero también como el riesgo de consolidación del poder centralizado y el peligro del aislamiento y la confusión como consecuencia, en parte, de la utilización e interpretación de los datos de todo orden, almacenados electrónicamente.

Así mismo se anticipa la tendencia hacia sociedades más complejas y enriquecidas por el conocimiento y la información, pero también más vulnerables, sobre todo en aquellos casos, que son la mayoría, en que nos ponemos en manos de una tecnología que desconocemos. Ello produce una fuerte división de la sociedad, entre los que saben y los que no saben [18].

Debe comprenderse que si las revoluciones en el transporte y en la comunicación crearon la *aldea global*, esta dilatación de horizontes, esa mezcla de las artes, esa búsqueda de lo nuevo, ya sea como un viaje de descubrimiento, ya como un esfuerzo esnobista para diferenciarse uno mismo de los demás, constituye en sí misma la creación de un nuevo tipo de modernidad. Una modernidad que significa un corte con el pasado, pues el antiguo concepto de cultura se basa en la continuidad, el moderno en la variedad; la tradición era el valor antiguo, el sincretismo es el ideal contemporáneo.

En el corte entre estas dos concepciones la tecnología ha sido esencial, al introducir otra manera de medir y al extender el control sobre la naturaleza, lo que ha transformado las relaciones sociales y nuestros modos de observar el mundo.

Así, pues, son evidentes las relaciones entre el cambio tecnológico y la variación de la cultura que llevó a la modernidad. Sin embargo, en nuestro medio persiste el debate de si debe fomentarse la cultura en función del desarrollo tecnológico o es necesario un cultivo autónomo de aquella. Este último punto de vista es sostenido por filósofos

nacionales como Guillermo Hoyos V., quien habla de

un concepto de modernización social con un marcado sentido heurístico, alimentado por los contenidos y bondades de la modernidad, y que se va realizando en su especificidad en cada cultura y en cada nación. Su racionalidad consiste en los rasgos universalizantes que pretenden imprimir y que hacen posible la comunicación entre diversas culturas y una especie de integración de naciones en un proyecto de internacionalización de los más diversos ámbitos de la vida cotidiana (no sólo de la ciencia y la tecnología) [19].

En resumen, el problema de la nueva tecnología electrónica y sus consecuencias es, como siempre, un problema ético y para los ingenieros persiste el reto de aclimatar, racionalmente, esa revolución tecnológica en las condiciones conflictivas del tercer mundo, especialmente agudizadas en nuestro país.

### Referencias

1. Mileafaf, Harry. *Electrónica*. Limusa. México, 1986.
2. González G., Felipe. "El efecto Edison". *Electrónica y computadores*. No. 59. Diciembre de 1999. p. 18.
3. Jiménez Martínez, Joaquín L. "Curiosidades en la historia de la electricidad y la electrónica". *Mundo Electrónico*. No. 142. 1984. p. 127.
4. Valencia, A., "Una nueva forma de pensar y hacer: el computador". *Revista Facultad de Ingeniería U. de A.* No. 22. p. 169.
5. "A Thumbnail History of Electronics". *The American Institute of Physics*. 1996.
6. Mejía, Aurelio, "Del ámbar a las comunicaciones". *Electrónica Fácil*. Julio, 1988. p. 9.
7. Gegerly, S. *Microelectrónica*. Salvat. Barcelona, 1985.
8. "Electronics". *The New Encyclopaedia Británica*. Vol. 18. Macropaedia, Chicago, 1993. p. 212.
9. Rogers, David W., "Gallium arsenide. The other semiconductor". *ASTM Standardization News*. October 1987. p. 28.
10. Fernández Bayo, Ignacio. "Nanotecnología: los obresos invisibles". *El futuro que viene*. Manuel Toharia (ed.). Temas de Hoy. Madrid, 1997. p. 233.
11. Molitor, Graham T.T. "Trends and forecasts for the new millennium". *The Futurist*. August-September, 1998. p. 53.
12. Pohl, Frederik. "Disappearing technologies". *The Futurist*. February, 1999. p. 30.
13. "Así será el hogar del futuro". *El Tiempo*. Bogotá. 30, octubre, 2000. p. 31.
14. Deken, Joseph. *La casa electrónica*. Orbis. Barcelona, 1986.
15. Salzman, Marian and Ira Matatia. "Lifestyles for the Next Millennium: 69 Forecasts". *The Futurist*. June-July, 1998. p. 31.
16. Sartori, Giovanni. *Homo Videns. La sociedad teledirigida*. Taurus. Madrid, 1998.
17. Ibáñez, Eduard. "Las paradojas de la ciudad cibernética". *El Viejo Topo*. No. 80. Diciembre de 1994. p. 77.
18. Calvo Hernando, Manuel. *La ciencia en el tercer milenio*. McGraw-Hill. Madrid, 1995.
19. Hoyos Vásquez, Guillermo, "Ciencia, Tecnología y Cultura". *Gaceta*. No. 8. Agosto, 1990. p. 14.