

Presente y futuro de la microelectrónica

Luis Alejandro Cortés¹

RESUMEN

La microelectrónica y los microsistemas, así como sus tecnologías asociadas, han tenido un crecimiento tan vertiginoso en los últimos años, que hoy se reconocen como uno de los elementos clave en el desarrollo de nuevos productos electrónicos y no electrónicos. Así la revolución de la microelectrónica es visible en áreas como telecomunicaciones, computadores, robótica, electrónica médica, instrumentación, electrónica industrial, aplicaciones automotrices, industria militar, y muchas otras más. El progreso en aspectos de la microelectrónica, tales como dispositivos físicos, fabricación, diseño de circuitos y desarrollo de sistemas, ha permitido que el campo de acción actualmente sea muy extenso.

I. LA REVOLUCIÓN DE LA MICROELECTRÓNICA

SIN temor a dudas se puede afirmar que la microelectrónica es la piedra angular de las tecnologías informáticas que penetran cada aspecto de la vida contemporánea. A su vez, estas tecnologías de computación y comunicaciones son la base de desarrollos tales como: automatización, conservación de energía y control de la polución de fábricas, automóviles y hogares; supercomputadores para aplicaciones desde la predicción del clima hasta investigación en vastas áreas; nuevas posibilidades en servicios financieros; nuevos medios de almacenamiento de audio y vídeo; sistemas telefónicos y de televisión avanzados; y sistemas militares de defensa entre otros. Cada una de éstas áreas está estrechamente ligada a la tecnología microelectrónica y, en consecuencia, ésta, la microelectrónica, tiene un fuerte impacto en la sociedad.

A finales de 1947, la industria electrónica fue testigo de uno de los pasos más importantes en toda su historia: demostró el efecto amplificador del primer transistor. En éste, la amplificación de corriente eléctrica se produce, no como hasta ese momento en virtud del comportamiento de electrones en el vacío de un tubo, sino gracias a la forma de comportamiento de los electrones en un material semiconductor. Con ello se

dejaba atrás casi medio siglo de interés y desarrollo del tubo de vacío. Sin embargo, sólo hasta 1959 se construyó el primer circuito de semiconductores con varios transistores sobre una misma pieza de silicio. Se puede decir, entonces, que había nacido la microelectrónica. En ese tiempo podría, sencillamente, haberse clasificado a la microelectrónica como uno más de los numerosos inventos y descubrimientos científicos y técnicos. Pero hoy día, a puertas del siglo XXI, es fácil comprender que no es uno más en la larga lista, sino uno de los motores principales de la vida moderna.

“La moderna era de la electrónica ha constituido el punto de partida de una segunda revolución industrial... Sus efectos sobre la sociedad podrían resultar de un alcance aún mucho mayor que los de la primera revolución industrial” [1]. En los últimos 20 años, la tecnología ha experimentado muchos refinamientos y los productos, es decir, los circuitos integrados, CI, han experimentado grados de un perfeccionamiento tan vertiginoso al punto de llegar hasta un nivel de integración y miniaturización que puede desafiar la imaginación. Desde la invención del CI (nacimiento de la microelectrónica) las capacidades de estos dispositivos (número de transistores integrados en una misma pastilla de silicio) se han duplicado cada dos años. Actualmente, un CI con cientos de miles de componentes puede conseguirse en el mercado por unos pocos dólares menos que el precio de un simple componente en la década del 50. Además de las posibilidades tecnológicas del perfeccionamiento y la evolución de circuitos electrónicos, ha habido un alto grado de amplitud y profundidad para el uso de estos productos y, así mismo, ha quedado manifiesto que esa multiplicidad de usos no se limita a determinados sectores de la técnica o de la industria, pues se ha comprobado que no está orientado únicamente a satisfacer necesidades especiales, y en cambio recorre caminos que conducen a todos los ámbitos de la vida humana, al mundo del trabajo, a la ciencia, la economía, industria, educación, entre muchos tantos. Y esa amplitud de aplicaciones es la que permite comprender que la microelectrónica está produciendo y producirá efectos como hasta el presente jamás se habían conocido en la historia de las innovaciones tecnológicas.

¹ Ingeniero Electricista, Universidad Nacional, Profesor Departamento de Ingeniería Eléctrica
Grupo de Microelectrónica, Universidad Nacional de Colombia, GMUN

II. MICROELECTRÓNICA Y SOCIEDAD

El impacto de las nuevas tecnologías electrónicas sobre la sociedad ha sido tal que valdría la pena preguntarse: ¿Qué ha hecho que la microelectrónica sea totalmente novedosa? Hasta mediados del siglo XX, la técnica se refería principalmente a dos aspectos: por un lado, brindar materiales y energía en formas útiles para ciertos fines. De otra parte, crear máquinas que aliviaran o realizarán el trabajo físico del ser humano. La microelectrónica se constituyó en el gran soporte de otra parte de la técnica, que hasta ese entonces no había ido más allá de algunas soluciones aisladas e intentos incipientes: *trabajo informativo* o manejo de la información. En períodos tempranos de la historia de la técnica se dieron experiencias en este campo, como el ábaco, la imprenta, el telégrafo, pero ninguno con la fuerza de revolucionar la tecnología informática como la microelectrónica

“Ese gran logro, lo concretamente novedoso, llegó solo con la microelectrónica, pues gracias a ella fue posible crear por primera vez componentes que reúnen los requisitos para su adecuada utilización a gran escala:

- ◆ Cuentan con complejidad suficiente para la autonomía en el manejo de la información.
- ◆ Es posible producirlos en grandes series a precios convenientes, de modo que su posesión y utilización no es privilegio de pocos y, en cambio, llega a ser posible para muchas personas.
- ◆ Son tan pequeños y livianos y requieren tan poca energía, que para usarlos ya no hace falta crear condiciones operativas extraordinarias” [2].

Así, entonces, puede considerarse a la microelectrónica, con toda razón, la segunda revolución industrial, es decir, el comienzo de una nueva época caracterizada por el nacimiento de una tecnología de la información global y de gran alcance.

Socialmente, las repercusiones de la microelectrónica han sido importantes no sólo desde el punto de vista de la transformación e innovación de los sistemas informáticos: es obvio que se ha infiltrado en los espacios del mundo contemporáneo a través de sus múltiples aplicaciones. Además de ello, las dimensiones económicas y políticas que ha tomado son considerables: los países que hoy día poseen la tecnología microelectrónica han adquirido un enorme poder económico y, en consecuencia, político. Basta citar el ejemplo de naciones asiáticas que en menos de medio siglo le dieron un vuelco completo a su economía, teniendo como base significativa el desarrollo de productos electrónicos; hoy están posicionados como países privilegiados en los mercados mundiales. Por eso, estas naciones y las potencias tradicionales han entendido

que es imprescindible fomentar e impulsar aún más las nuevas perspectivas tecnológicas de la microelectrónica. Una buena parte de los recursos de estos estados son *reinvertidos* en actividades de investigación y desarrollo, I&D, en esta área a través de organizaciones de investigación cooperativa, programas de apoyo industrial, agencias y laboratorios de innovación tecnológica, centros universitarios, y muchas más iniciativas dentro de este amplio rango de posibilidades. Para estos países es claro el papel de la microelectrónica en su futuro.

Pero ¿Qué ocurre en el resto del mundo respecto a la microelectrónica? Hasta la década pasada, los llamados países del tercer mundo fueron, fundamentalmente, *partícipes* de esta revolución tecnológica como consumidores de diversas aplicaciones. Su papel era el de elementos pasivos en este contexto. Algunas de estas naciones han ido despertando, de forma lenta, de ese aletargamiento en que han permanecido desde tiempo atrás. Han comprendido que deben enfrentar los nuevos retos tecnológicos como componentes activos en el desarrollo de la microelectrónica.

Básicamente, existen dos tipos de circuitos integrados: los CI estándares (o de función fija) y los CI *a medida* (o de aplicación específica). Ambos tipos de componentes son necesarios para el desarrollo de sistemas electrónicos competitivos. Los primeros incluyen memorias, microprocesadores, etcétera y tradicionalmente han sido desarrollados por poderosas compañías con gran capacidad tecnológica y económica, y vasta experiencia y trayectoria en el campo. A corto plazo, es utópico pensar que los países subdesarrollados puedan competir con esta clase de CI, por las enormes desventajas, de todo tipo, que tienen respecto a las naciones del Primer mundo. Los Circuitos Integrados de aplicación específica (ASICs -*Application Specific Integrated Circuits*), en cambio, se constituyen en una alternativa viable para los países en vías de desarrollo que buscan acceder en forma activa a la microelectrónica. Tales CI se diseñan para realizar funciones muy específicas, y, por tanto, los volúmenes de producción son relativamente bajos y su aplicación va dirigida a nichos específicos del mercado. Los países subdesarrollados que han dado los primeros pasos en la microelectrónica han centrado su esfuerzo en el fomento de los ASIC como solución a los problemas puntuales de su industria electrónica. Y para ellos es claro que una industria que no incursione en microelectrónica jamás será realmente competitiva.

III. TENDENCIAS TECNOLÓGICAS

Aunque las tendencias en sistemas de muy alta escala de integración son diversas, y distintas familias tecnológicas están disponibles hoy día, aquellas basadas en dispositivos MOS

siempre han mantenido y tendrán, una importancia muy significativa en la industria y en el mercado. Más aún, la tecnología CMOS ocupa, desde la década del 80, una posición de privilegio en diseño de sistemas electrónicos modernos. De esta manera, la tecnología CMOS se encuentra presente en la mayoría de las aplicaciones comerciales que requieren sistemas digitales con características de alta velocidad, muy alta densidad, muy bajo consumo de potencia y/o bajo costo. Los niveles de integración han ido creciendo rápidamente (véase figura 1), mientras que el costo por transistor en estos sistemas VLSI (*Very Large Scale Integration*) ha ido reduciéndose vertiginosamente (véase figura 2)

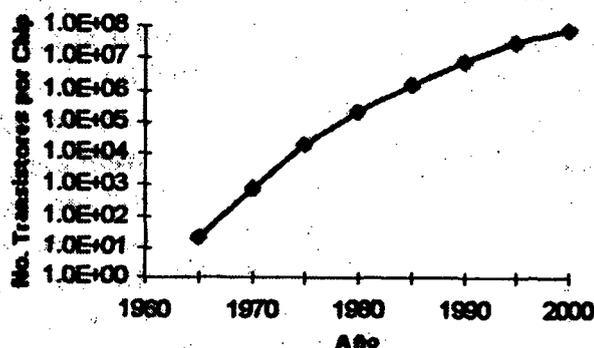


Figura 1. Evolución de la densidad de integración

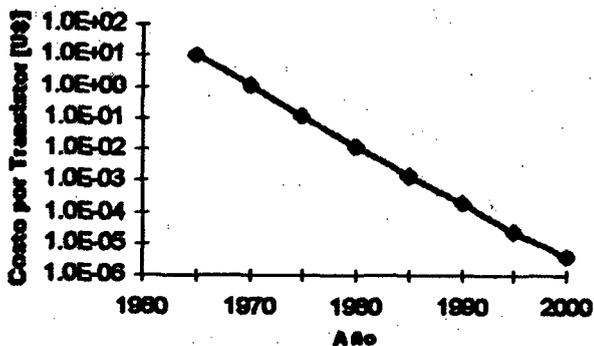


Figura 2. Evolución del costo de los circuitos integrados

Desde el punto de vista de tendencias, la microelectrónica puede dividirse en dos grandes partes: (a) tecnología de fabricación, incluyendo materiales, dispositivos y circuitos; y (b) arquitectura de los sistemas. Respecto a los avances en fabricación, un análisis de las tendencias históricas de los CI, durante las últimas dos décadas, señala que el tiempo de vida de una generación tecnológica² es aproximadamente tres años, y que para cada generación la densidad de las memorias se incrementa por cuatro, mientras que para los demás circuitos lógicos el factor multiplicativo está entre dos y tres. Asociada con estas tendencias está la disminución de tamaño característico, para lo cual se observa una reducción a la mitad cada seis años. Para los ASIC, el comportamiento en las

tendencias difiere un poco respecto a lo que ocurre con los dispositivos de memoria: estas últimas son las que han avanzado más rápidamente en cuanto a niveles de integración y este desarrollo apunta hacia la fabricación de SRAM, DRAM, EPROM y EEPROM. Hoy día se tienen DRAM de 64 Mbits fabricadas en tecnología de 0,35 μm , y en un futuro cercano las geometrías serán de 0,25 μm y 0,18 μm . Sin embargo, los costos de implementar una nueva línea de generación tecnológica son supremamente altos: en 1986, el costo de montar una línea de fabricación de 1,0 μm estaba alrededor de U\$100M, mientras que hoy día ensamblar una línea de tecnología 0,35 μm está cerca de U\$100.000M. Otra de las tendencias importantes en tecnología CMOS es la de incrementar la oblea de silicio en los procesos de fabricación: hace algunos años se trabajaba con obleas de 200mm, y actualmente ya se tienen procesos con las primeras obleas de 300 mm [3].

En la década siguiente, la tendencia tecnológica primaria en la estructura física continuará hacia la miniaturización de CI fabricados en silicio, ya que ello implica circuitos con mejor desempeño y menos costos. Sin embargo, estamos acercándonos a un punto de saturación en la disminución de los tamaños, pues, por restricciones físicas en los materiales, será muy complicado reducir las geometrías de fabricación. Por ello se han abordado nuevos caminos y los esfuerzos en investigación y desarrollo a mediano y largo plazo, para la próxima generación microelectrónica, estarán centrados en circuitos digitales y análogos hechos de arseniuro de galio (GaAs); optoelectrónica; y estructuras de efecto cuántico.

Mientras los circuitos continúan *encogiéndose* y empiezan a notarse limitaciones en su estructura física, las herramientas de diseño son cada vez más poderosas y, en consecuencia, la flexibilidad del diseño de CI crece rápidamente. En el pasado, los usuarios habían estado limitados a construir sistemas con CI estándares y otros componentes. Ahora, los complejos sistemas de diseño, junto con las capacidades avanzadas de manufactura, les permiten a los usuarios diseñar chips para la realización de tareas específicas. Como las capacidades de las herramientas de diseño y de las redes que las comunican se expanden, un ingeniero podrá diseñar un CI para una necesidad específica desde una estación de trabajo, transmitir su diseño a la *foundry* de silicio, y recibir el chip en muy corto tiempo y con bajo costo. Este nivel de flexibilidad podría abrir las puertas para un nuevo género de capacidades electrónicas. Adicionalmente, los diseñadores han mejorado notablemente las arquitecturas de los sistemas, lo cual, junto con los progresos en procesos de fabricación, ha permitido el desarrollo de circuitos microelectrónicos con altísimos niveles de desempeño.

² En microelectrónica, una generación tecnológica se refiere a las condiciones geométricas que rigen el proceso de fabricación de los dispositivos. Así, una nueva generación tecnológica tendrá dimensiones mínimas para los transistores que son menores a la anterior, lo cual se traduce en una mayor escala de integración y sistemas más rápidos

BIBLIOGRAFÍA

1. "Microstructure Science, Engineering and Technology". *National Academy of Science*, Washington, 1979
2. "Los chips y sus perspectivas". *Siemens Aktiengesellschaft*, Berlín, 1985
3. CLAEYS, C.L. *Trends in CMOS Technologies*. Memorias I Workshop Iberchip, Cartagena de Indias, 1995
4. AGUILÓ, J., DESCHAMPS, J.P., SCHUTZ, E y VALDERRAMA, E. *El Futuro de los CI a medida*. *Mundo Electrónico*. No. 63, 1986