

# Smaller, faster, cheaper.

Juan Grompone

**Abstract:** *The Computer revolution since the sixties can be described with the motto: "smaller, faster, cheaper". The Gordon Moore's Law is the mathematical expression of the "smaller" tendency. "Faster" and "cheaper" are direct consequences of Moore's Law. In this paper a simple mathematical model of World sales and the number of Personal Computers installed is presented. The model is adjusted to current market values. The resulting equation predicts for the next decade the existence of one Personal Computer for every two people in the World. This prediction seems to be impossible from the economical and social point of view. Thus, we can expect a major change in the Computer market in the next years. As "cheaper" will fail, also Gordon Moore's Law should fail.*

**Key words:** *Gordon Moore's Law, World PC Computer market, Information Society, future of computers.*

## 1. Introducción

La informática se desarrolló bajo una divisa implícita: *smaller, faster, cheaper*<sup>1</sup>. Estas tres palabras al mismo tiempo describían el acontecer y expresaban el deseo de la industria. Eran similares a la divisa que el barón Pierre de Coubertin había elegido para los juegos olímpicos modernos, una terna de palabras latinas –que

---

<sup>1</sup> Este artículo fue preparado para el "Primer Congreso Nacional de Informática", Montevideo, 1997. Fue publicado en 1999 por la Oficina de Apuntes del CECEA como *Perspectivas y tendencias de la Informática en el Uruguay*.

describían la misma idea– para caracterizarlos: *altius, citius, fortius* (más alto, más rápido, más fuerte).

Hoy sabemos que la finalidad última de la revolución informática es la construcción de lo que se ha llamado la Sociedad de la Información, una nueva manera de relacionarnos entre nosotros y con la naturaleza, asistidos a cada paso por las máquinas informáticas para reducir al mínimo los procesamientos algorítmicos de la información y liberar así la máxima capacidad creadora de la actividad humana.

Es, por lo tanto, una pregunta central de nuestro tiempo intentar responder cuándo ocurrirá esta Sociedad de la Información.

## 2. Smaller

En el comienzo de la electrónica lo primero que se advirtió fue que cada vez los circuitos eran más pequeños. La tríada comenzó en *smaller*.

La microelectrónica comenzó en 1961 con los circuitos integrados. En 1965 Gordon Moore advertía el crecimiento exponencial de la cantidad de transistores de los circuitos. En un artículo en la revista *Electronics* publicaba la idea primera de lo que hoy conocemos la “ley” de Gordon Moore. En este entonces era director de Fairchild Semiconductor Corporation, una empresa que forjaría los primeros comienzos de la microelectrónica <sup>2</sup>. Moore tenía *tres datos*: sabía la fecha del primer transistor plano sobre silicio; los primeros circuitos integrados, en 1961, tenían solamente 4 transistores y observaba que en el presente –es decir 1965– habían alcanzado la enorme suma de 200 transistores. De allí pegó un salto al vacío y adelantó que la densidad de transistores parecía duplicarse *cada año*. Gordon Moore sería consecuente con esta idea y se convertiría en uno de los pioneros del *smaller, faster, cheaper*: pocos años después fundaría Intel

---

<sup>2</sup> Moore relató muchas veces esta historia. Una las últimas versiones se encuentra en una entrevista en *Business Week*, 23–jun–97, p. 66.

Corporation y lideraría la revolución de los microprocesadores y las memorias electrónicas. En 1975, con la experiencia acumulada por Intel, analizó la tendencia de nuevo y se declaró que el número de transistores se duplicaba *cada dos años*. La cifra generalmente aceptada actualmente es intermedia: *cada 18 meses* se duplica el número de transistores de los chips.

La Ley de Gordon Moore –y algunas otras leyes relacionadas– establecen que los diferentes parámetros físicos de los circuitos electrónicos integrados crecen en forma exponencial en el tiempo. Estas leyes son típicas leyes empíricas acerca de las cuales no existe mayor fundamentación teórica. Desde el momento de su formulación hasta el presente han sufridos algunas modificaciones no substanciales en los valores de sus parámetros, pero su validez ha permanecido esencialmente no cuestionada.

El número de transistores de un chip depende en forma crítica de las dimensiones del transistor y de los demás elementos geométricos empleados. El tamaño del chip no incide demasiado porque no se puede aumentar en forma importante el tamaño del trozo de silicio empleado. En la jerga técnica este problema se conoce como “las reglas de diseño”. El mosaico que forma el chip emplea elementos que tienen un cierto tamaño típico. Este módulo es conocido como la “regla de diseño” empleada. El Cuadro 1 se presentan algunas cifras.

Cuadro 1: Evolución de las reglas de diseño de los circuitos integrados.

fecha	reglas de diseño	ref.
1970	20 micras	[ 1 ]
1975	10 micras	[ 1 ]
1978	4,5 micras	[ 1 ]
1980	2 a 3 micras	[ 1 ]
1996	0,35 micras	[ 5 ]
1997	0,25 micras	[ 5 ]
1999	0,18 micras	[ 5 ]

Vale la pena señalar al pasar, como dato curioso porque no tiene importancia de ningún tipo, que las dimensiones de las células son del orden de la micra. Esto quiere decir que los transistores de las computadoras personales de la década del 80 ya habían alcanzado dimensiones “biológicas”.

### 3. Faster, cheaper

Una consecuencia no detectada desde el principio, pero relacionada íntimamente con los procesos físicos que ocurrían en el transistor, fue que la miniaturización implicaba un aumento de velocidad del procesamiento. En la medida que las distancias a recorrer dentro del silicio por los lentos portadores de carga eran cada vez menores, los transistores podían trabajar cada vez a mayor velocidad. En el Cuadro 2 se presenta la historia de los procesadores de Intel y alguna especulación acerca del futuro.

Cuadro 2: Evolución de los chips de Intel en sus diversas características. [ 5 ]

chip	lanzamiento	precio	transistores	MIPS
4004	11/71	200	2,3 K	0.06
8008	4/72	300	3,5 K	0.06
8080	4/74	300	6 K	0.6
8086	6/78	360	29 K	0.3
8088	6/79	360	29 K	0.3
286	2/82	360	134 K	0.9
386	10/85	299	275 K	5
486	4/89	950	1,2 M	20
Pentium	3/93	878	3,1 M	100
Pentium pro	5/95	974	5,5 M	300
786 ?	1997	1000	8 M	500
886 ?	2000	1000	15 M	1.000
1286 ?	2011	?	1 G	100.000

Se puede comprobar claramente que *faster* es una consecuencia de *smaller*. Más adelante regresaremos sobre este punto. En cambio *cheaper* no es verdadero en forma literal.

Los precios de los procesadores hasta el 486 se mantuvieron esencialmente constantes. En el momento de su lanzamiento costaron siempre alrededor de 300 dólares. Esta situación se modificó en forma notable con la llegada del 486. Se lanza un nuevo chip a la venta cuando es *económicamente viable*, por esta razón su precio es esencialmente constante. Esta situación parece cambiar a partir de la enorme difusión de la computadora Wintel con el procesador 486. Sin duda existieron cambios en la estrategia comercial y es posible que la situación de virtual monopolio de Intel sea la responsable del aumento de precios. Es claro que los analistas de mercado no prevén una disminución de precios para el futuro.

Intel sostiene que es cada vez más costoso montar una fábrica de semiconductores, cada nueva generación *duplica su costo* [ 4 ], y es probable que tenga razón, no obstante lo cual es opinión personal de este autor que la verdadera razón del aumento de precios y de las enormes ganancias de Intel en los últimos años se debe a la situación de monopolio <sup>3</sup>.

Es claro, sin embargo, que existe una disminución de precio en el sentido de que *lo mismo* cuesta –exponencialmente– cada vez menos. Nuevamente aquí la tercera palabra es consecuencia de las otras dos. Más pequeño significa más rápido, más rápido (a precios esencialmente constantes) significa más barato.

#### 4. El límite físico

Todo lo presentado nos lleva de la mano a que la revolución electrónica depende crucialmente de la capacidad para fabricar transistores cada vez más pequeños. Pero este proceso tiene un límite: la estructura atómica del silicio. De seguir las tendencias

---

<sup>3</sup> A pesar de la reconocida línea económica liberal de Business Week, nunca ha sugerido esta interpretación al fenómeno.

actuales, tarde o temprano se tropezará con límites físicos que de tendrán el proceso u obligarán a una nueva y revolucionaria tecnología. Es interesante analizar cuándo ocurrirán estos fenómenos.

Lewis [ 3 ] presenta cifras ajustadas de las diferentes exponenciales relacionadas con la Ley de Gordon Moore. Tal como fuera originalmente formulada, la ecuación de la forma:

$$k B^t$$

donde  $k$  y  $B$  son constantes empíricas y  $t$  es el tiempo en años. En el Cuadro 3 se presentan algunas constantes empíricas para diversos sectores industriales de avanzada.

Cuadro 3: Algunas áreas tecnológicas en crecimiento exponencial. [ 3 ]

área de actividad	B	comentarios
Manufactura de aviones	1,1	mejora de características
Ley de Gordon Moore	1,48	versión original
Ley de Gordon Moore	1,56	mejor ajuste actual
Comunicaciones	1,78	Megabits por segundo por Km.

Resulta claro de estas cifras que la electrónica es una de las ramas que más ha crecido en la historia de la humanidad si la comparamos, por ejemplo, con otra área de crecimiento vertiginoso como es la aviación. Sin embargo, las cifras empíricas muestran –lo que es conocido por demás– que las comunicaciones crecen todavía más que la electrónica.

En el Cuadro 4 se presentan las coeficientes empíricos actuales para el crecimiento de la velocidad de procesamiento y del número de transistores de los chips. Es interesante observar que la velocidad crece más que la cantidad de transistores, lo cual evidencia las mejoras de las técnicas de diseño de los procesadores por mayor empleo del paralelismo interno.

Cuadro 4: Mejor ajuste actual al crecimiento de la microelectrónica. [ 3 ]

área de actividad	B	k
crecimiento de los MIPS	1,56	0,002374
crecimiento del número de transistores	1,37	1,492

Si aceptamos que estas ecuaciones empíricas representan la tendencia histórica de la microelectrónica, ahora será sencillo investigar cuando –plausiblemente– se llegará a los límites físicos de fabricación de nuevos chips.

Aplicando la Ley de Gordon Moore con las cifras del Cuadro 4 *en el 2006 se llegará a un transistor por átomo de silicio*. Es claro que las tendencias actuales predicen entonces una corta vida a la actual frenética revolución de la microelectrónica. Este resultado sorprendente contrasta con otra predicción alentadora. Si suponemos que el chip último que se puede fabricar en silicio es capaz de realizar una operación, a la velocidad de la luz (el límite físico) entre dos átomos del cristal, esto conduce a  $3 \times 10^{11}$  MIPS y este límite se alcanzaría, según la ecuación empírica, más allá del 2020. Esto significa que *el chip último* se encuentra, posiblemente, a menos de una década del presente.

Es interesante observar que el problema no se soluciona cambiando el silicio por otro material: las propiedades de los cristales son muy parecidas entre sí, otro semiconductor no cambiará nada *esencial* en estos límites físicos.

Muchos autores ya han advertido de este problema de los límites físicos de los transistores. Keys [ 2 ] sostiene que al acercarse las reglas de diseño a 100 Ångstroms (0,01 micras) empiezan los efectos cuánticos. El límite de laboratorio posiblemente esté en 30 Ångstroms (0,003 micras) y se llegará a estos límites hacia el 2003. Otros autores sostienen que el proceso será más lento y que recién en el 2010 se llegará a 0,1 micras<sup>4</sup>. Su

---

<sup>4</sup> Gary A. Franzier, de Texas Instruments, advierte que posiblemente se trabaje en esta fecha con reglas menores y se estará al borde cuántico. Indica que será necesaria una nueva tecnología. Business Week, 1–jul–96, p. 53.

propuesta de nueva tecnología consiste en reemplazar los transistores por “islotos atómicos” de 20 nanómetros de largo (0,02 micras) que contienen unos *60 átomos de silicio* de largo, porque todavía no se manifiestan en forma “molesta” las propiedades cuánticas. Algunos van más lejos, en la Universidad de Minnesota anunciaron recientemente la posibilidad de almacenar un único electrón por vez [ 7 ] y esto permitiría llevar muy lejos el límite físico de aplicación de la ley de Gordon Moore.

Cualquiera sea la posición adoptada, parece existir acuerdo en los comienzos del siglo XXI algo muy trascendente ocurrirá con la microelectrónica y no es claro que se puede continuar al ritmo en que se venía. Al detenerse el *smaller* es de esperar consecuencia importantes para el *cheaper* y el *faster*.

La respuesta clásica al agotarse las posibilidades de chips más densos es emplear, en forma masiva, el *paralelismo*. Este problema fue estudiado desde varias décadas atrás, en particular por Gene Amdahl, el diseñado de la IBM /360. Por acumulación de procesadores pueden crearse máquinas más potentes a partir un chip dado, pero este mecanismo tiene algunas sorpresas:

- El límite del paralelismo de máquinas se encuentra en la velocidad de comunicación de los buses internos de los chips. Los MIPS se encuentran limitados por los límites físicos de la comunicación y éstos, por la velocidad de la luz.
- A los chips les está ocurriendo otro fenómeno: la complejidad de la interconexión. Cada vez más la superficie del chip está destinada a interconectar transistores [ 6 ]. Este fenómeno que se manifiesta a nivel de chips también será notorio en las placas y por este lado también hay una limitación importante.
- El paralelismo cambia la ecuación de *cheaper*. Hasta hoy, lo mismo costaba menos en forma exponencial. Al depender del paralelismo, desaparece este efecto. Se llega al límite de costo y, en adelante, más capacidad de procesamiento significará un costo proporcional.

Estas consideraciones muestran que parece estarse llegando al borde del *smaller, faster, cheaper*.

## 5. Computadoras para todos

La revolución de la información tiene otro punto de vista. Con la introducción de la computadora personal, hacia 1980, se dio un paso decisivo para la masificación de su uso. El mercado de las computadoras ha crecido en forma sostenida y exponencial.

Cuadro 5: El mercado de las computadoras personales.<sup>5</sup>

fecha	millones	comentario
1991	60	PC existentes en el mundo <sup>6</sup>
1991	70	copias del MS-DOS vendidas <sup>7</sup>
1992	100	PC existentes en el mundo <sup>8</sup>
1993	22	PC fabricados anualmente <sup>9</sup>
1994	33	venta mundial de PC estimada por año <sup>10</sup>
1994	55	base instalada de Windows <sup>11</sup>
1995	100	base instalada de Windows <sup>12</sup>
1995	85	clientes potenciales de Windows 95 <sup>13</sup>
1996	60	Pentium vendidos en el año <sup>14</sup>
1997	36	mercado mundial PC estimados <sup>15</sup>

<sup>5</sup> Estas cifras están obtenidas de diversos números de Business Week. No tienen coherencia entre sí por provenir de *estimaciones* de diversos analistas.

<sup>6</sup> Business Week, 10-jun-91, p. 38.

<sup>7</sup> Business Week, 12-aug-91, p. 50.

<sup>8</sup> Business Week, 1-jun-92, p. 48.

<sup>9</sup> Business Week, 1-mar-93.

<sup>10</sup> En Business Week 13-jun-94 p. 43, se indica la distribución mundial de ventas es 40% USA, 30% Europa y 10% Japón. El consumo de computadoras de USA es de 20M en 1996, de aquí resulta que el consumo mundial es 33M.

<sup>11</sup> Business Week, 27-jun-94, p. 38.

<sup>12</sup> Business Week, 4-dec-95, p. 52.

<sup>13</sup> Business Week, 17-jul-95, p. 36.

<sup>14</sup> Business Week, 12-may-97, p. 44.

<sup>15</sup> En Business Week, 26-may-97, p. 66, se estima el mercado de PC en USA en 14 M para el sector corporativo y 7.7 M para el hogar. De aquí resulta que 22 M es el mercado total y luego, en el mundo, es de 36 M.

No existen cifras globales acerca de la cantidad de computadoras existentes en el planeta. Tampoco existen cifras solamente para los Estados Unidos. Las únicas cifras razonablemente ciertas son acerca de la producción de nuevas computadoras personales. En el Cuadro 5 se presentan cifras dispersas que permiten aproximarse al mercado y la existencia de computadoras personales en el mundo. En el Cuadro 6 aparecen cifras de una misma fuente acerca del mercado mundial de PC. Todos estos resultados requieren una elaboración adicional a los efectos de que permitan obtener conclusiones interesantes.

Cuadro 6: Ventas mundiales de PC (estimadas).<sup>16</sup>

fecha	millones
1994	45
1995	60
1996	65
1997	80
1998	90

La única manera de armonizar estas cifras es a través de un modelo matemático simple que permita ajustar parámetros. Sin duda la cifra más interesante, a los efectos de analizar la Sociedad de la Información, es la cifra total mundial de computadoras. A los efectos de construir un modelo se adoptas las siguientes hipótesis:

- El mercado mundial de computadoras personales crece en forma exponencial constante. La constante de crecimiento se debe ajustar en forma empírica.

---

<sup>16</sup> Estas cifras poseen el interés de provenir de una única fuente, lo cual asegura coherencia (pero no exactitud), Business Week, 28-jul-97.

- Las computadoras personales poseen una vida media estimada en 5 años, al cabo de lo cual desaparecen del uso efectivo.
- El ajuste de las curvas se realiza de modo de tener el máximo de proximidad a las cifras del Cuadro 5 y del Cuadro 6.

Sin duda la hipótesis de la vida media de 5 años puede parecer arbitraria. Es claro que en los lugares donde se hace un uso intensivo de las computadoras personales el reemplazo de máquinas ocurre cada 24 meses o aún menos. Pero esto no significa que la computadora no encuentre otra posición de trabajo, ya sea en un lugar de menos exigencia, ya sea que se venda como material usado, ya sea que se lo done a instituciones de enseñanza u otros fines. La cifra de 5 años es lo suficientemente larga como para encontrarse próxima a la vida útil de teclados, monitores o discos. Por otra parte, en 5 años, dada la Ley de Gordon Moore, una computadora personal es verdaderamente obsoleta.

Las ecuaciones del modelo empleado para el ajuste son:

$$V_n = r \cdot V_{n-1}$$

$$E_n = E_{n-1} + V_n - E_{n-5}$$

Donde  $V_n$  son las ventas de PC en el año  $n$ ,  $E_n$  son los PC existentes en el mundo el año  $n$  y  $r$  es el factor de crecimiento anual del mercado. Como puede observarse se eliminan por obsoletas todas las computadoras que poseen 5 años de antigüedad. El valor que mejor ajusta con las cifras de los cuadros es un crecimiento anual  $r = 1,30$ . En las Figuras 1 y 2 se comparan los resultados del modelo con las cifras de los cuadros.

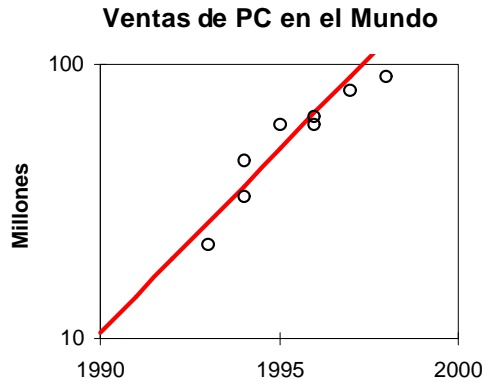


Figura 1: Venta de PC en el mundo: modelo teórico y estimaciones.

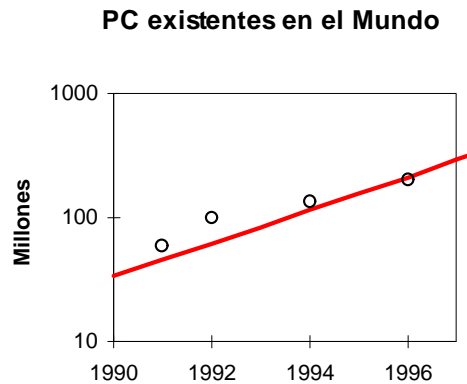


Figura 2: Parque mundial de PC según el modelo comparado con estimaciones.

Es muy interesante observar que la curva trazada para la existencia de PC en el mundo supone un quiebre en el parque de computadoras de todo tipo en los años previos a 1981. En otras palabras, la computadora personal supuso –como es obvio– un cambio en cantidad en el número de computadoras existentes en el Mundo.

Si aplicamos el modelo numérico hacia el futuro tenemos algunos resultados interesantes que se presentan en el Cuadro 7. Es claro que las cifras para el presente están en buen acuerdo con las estimaciones realizadas por otros autores. El punto interesante es el análisis de las tendencias futuras.

Cuadro 7: Ventas y computadoras personales estimadas en el mundo.

año	parque en millones	ventas en millones
1995	144	45
1996	187	59
1997	243	77
1998	316	100
1999	411	130
2000	534	169
2001	694	219
2002	903	285
2003	1173	371
2004	1525	482
2005	1983	626
2006	2578	814
2007	3351	1058
2008	4357	1376
2009	5664	1789
2010	7363	2325

El punto más interesante en el Cuadro 7 es la observación que hacia mediados de la década siguiente, de mantenerse las tendencias actuales, existirá *una computadora personal cada dos habitantes del planeta*. Este es un hecho sumamente significativo que merece ser analizado con cuidado.

## 6. ¿Cuándo ocurrirá el futuro?

Las cifras del Cuadro 7 suponen que las tendencias actuales, es decir las que se han mantenido a lo largo de toda la revolución de la microelectrónica, las que predice la ley de Gordon Moore, se conservarán en los próximos diez años. Todo el mundo parece estar de acuerdo con esta hipótesis, ningún analista espera un cambio importante en el futuro próximo. No obstante esto, en general no se realiza una proyección de este tipo. Examinemos entonces la proyección en sus diferentes hipótesis de futuro.

La primera hipótesis consiste en suponer que *las tendencias históricas se mantienen*. En este caso, *la Sociedad de la Información habrá llegado hacia el 2005*. El número de computadoras personales será comparable al de televisores o teléfonos. Todos los habitantes del planeta tendrá acceso a un medio informático y todo ocurre tal cual lo predicen los augures de la modernidad. La propuesta reciente de las Network Computers apunta, sin duda, en esta dirección. Sin embargo hay algunas dificultades, entre ellas:

- Esta situación *no parece económicamente viable*. Una computadora cada dos habitantes supone que este nivel de informatización ha llegado a la India, a China y también a los países paupérrimos del Tercer Mundo.
- *No parece posible educar* a la población planetaria para el uso cotidiano de las computadoras personales. En la mayoría de los países del planeta la informática no ha llegado a los niveles escolares pero los habitantes del 2005 ya están llegando a la escuela.
- *No parece posible que la economía asimile este volumen de computadoras*. Si bien los procesos de automatización avanzan a toda velocidad, provocan un desempleo creciente. El convertir a la computadora personal en el reemplazo universal del papel, de los medios de trabajo, de los medios de entretenimiento y de los medios de comunicación (condición que parece indispensable para llegar a los volúmenes

considerados) parece estar lejos de lo que sucede hoy en día. No parece posible que suceda en una década.

Las consideraciones anteriores sugieren que la tendencia histórica de evolución de las computadoras *no se podrá mantener en el futuro próximo*. En el presente las 200 millones de computadoras personales significan solamente del orden del 4% de la población mundial. Por cierto que están muy desigualmente repartidas:

- Usualmente se acepta que Estados Unidos tiene el 40% de las computadoras del mundo. Esto supone al día de hoy unas 80 millones de computadoras personales lo cual es *una computadora cada 3 habitantes* aproximadamente. Esto significa que ya se ha llegado allí casi a los niveles de saturación.
- Japón posee un 10% de las computadoras del mundo y estas 20 millones de computadoras con *una cada 6 habitantes*.
- También se acepta que Europa tiene el 30% de las computadoras del mundo. Esto supone hoy en día unas 60 millones de computadoras, tal vez *una cada 10 habitantes*.

Como se ve, el 20% restante, unas 40 millones de computadoras, están en el resto del planeta y es este sector el que difícilmente pueda seguir el ritmo de crecimiento del pasado.

Este análisis significa que hay grandes cambios en el futuro inmediato de la computación. El más importantes tiene que ver con el cambio de velocidad del mercado. Si no se puede continuar vendiendo a la enorme velocidad que se vendía en el pasado, entonces el ritmo de la ley de Gordon Moore debe cambiar, no ya por acercarse a posibles límites físicos sino por razones económicas. Está implícito en esta ley que se continúa invirtiendo al ritmo que corresponde. Pero todo parece indicar que en algún momento se invertirá en el desarrollo de un chip que no se

venderá al ritmo esperado. Este es el momento en que el *cheaper* condiciona al *smaller*.

Tal como se mencionó antes, cada nuevo chip exige una inversión doble del anterior. Esta inversión debe ser amortizada con la venta de los chips. Si el ritmo de venta decrece, el tiempo de amortización aumentará y por lo tanto, la velocidad de cambio disminuirá. Con las cifras que hemos manejado, en unos pocos años la industria de las computadoras deberá frenarse en su ritmo de crecimiento y, por lo tanto, cambiar mucho el estilo *smaller, faster, cheaper*. Ocurrirá entonces el cierre de la tríada, al fracasar el *cheaper*, se frenará el *smaller* y todo cambiará. Tal vez el aumento de precios de los últimos chips son una señal de que este proceso ya ha comenzado.

## 7. Conclusiones

Si las hipótesis del presente artículo son correctas, asistiremos en la próxima década a profundos cambios en el mercado de la computación. Posiblemente algunos gigantes de hoy desaparezcan mañana. Posiblemente el ritmo vertiginoso de crecimiento que ha ocurrido en el pasado se detenga y la industria de la computación adquiera el mismo ritmo de innovación que cualquiera de las industrias de electrodomésticos. Esto hará que cambie todo: la necesidad de profesionales, la educación y hasta la manera de diseñar los productos.

La Sociedad de la Información deberá esperar por la economía por la imposibilidad de penetrar los mercados de los países pobres al ritmo del presente. Tal vez esta sea la más importante y feliz de las consecuencias dentro de este panorama poco alentador que parece avizorarse.

## 8. Referencias

[ 1 ] *Electronics*, 17–apr–80. [Número dedicado a la historia de la electrónica]

- [ 2 ] Keys, Robert. *The Future of the Transistor*. Scientific American, June 1993.
- [ 3 ] Lewis, Ted. *The Next 10,000<sub>2</sub> Years*. IEEE Computer, April, May 1996.
- [ 4 ] Tredennick, Nick. *Microprocessor Based Computers*. IEEE Computer, October 1996.
- [ 5 ] *Business Week*, 9–dec–96, p. 46. [Artículo sobre Intel y la historia de la microelectrónica.]
- [ 6 ] *Under the Wire*. Scientific American, May 1997.
- [ 7 ] Schaller, Robert R. *Moore's Law: past, present and future*. IEEE Spectrum, June 1997.