

ACTUALIDAD Y LA ELECTRONICA

1. INTRODUCCIÓN

En muchos artículos y ponencias se ha resaltado la importancia que ha adquirido la electrónica en los últimos lustros, en primer lugar por la creciente influencia que ejerce sobre la automatización y por consiguiente sobre la productividad de la industria, y en general sobre la productividad de todos los sectores de la economía, influencia que es muy notoria en casos como los de la banca y el comercio. En segundo lugar la electrónica se destaca por haberse constituido en la industria de mayores ventas en el mundo, las que en 1992 llegaron a 1013 billones de dólares (1 billón = 1000 millones), superando incluso a la industria automotriz (ver referencias (1) y (2)). En tercer lugar, la industria electrónica se ha convertido en la principal industria empleadora de los países avanzados, vr. gr.: en los EEUU ya ocupa más trabajadores que las industrias automotriz, del acero y aeronáutica juntas (ver referencia (2)).

Cuando se trata de la actualidad y la prospectiva de la electrónica no se puede omitir el tema de la *microelectrónica*, un sector considerado como el factor dirigente de la industria electrónica.

Pero ¿Qué es la microelectrónica? Vocablo tan trajinado y que algunos mencionan aparentemente sin entender su significado. Esta es una de las preguntas que se tratara de resolver en la siguiente sección.

2. EXPLICACIÓN SOBRE LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA Y SOBRE LA MICROELECTRÓNICA.

2.1 Los equipos electrónicos

La industria electrónica suministra a la sociedad, en principio, equipos que se utilizan en el hogar, en la oficina, en la industria o en cualquier otro ámbito en donde se desarrolle la actividad humana.

En 1992 las ventas de equipos electrónicos en el mundo fueron de 660.000 millones de dólares (2), distribuidas de la siguiente manera:

Procesamiento de datos	43 %
Electrónica de consumo	22 %
Telecomunicaciones	18 %
Electrónica industrial	8 %
Electrónica automotriz	3 %
Otros	6 %

Como se aprecia en la tabla anterior, las 3 clases de equipos electrónicos de mayor venta en el mundo representan en conjunto más del 80 % del mercado, y corresponden en su orden a los computadores, los equipos de consumo y los de telecomunicaciones.

PROSPECTIVA DE EN COLOMBIA Y EN EL MUNDO

*Adolfo Mora Villate
Profesor Depto de Ingeniería Eléctrica
Universidad Nacional*

Los computadores, por su parte, constituyen más del 40 % del mercado global de equipos electrónicos, pero aclarando que esta cifra se obtuvo contabilizando solamente los equipos, o sea el hardware, sin haber tenido en cuenta el mercado de los programas (software), que hoy día es casi de igual volumen al primero. En los últimos años el software ha venido adquiriendo una importancia creciente, bien sea por haberse convertido en el cuello de botella en el desarrollo de muchos productos, o bien sea por que las novedades en el campo del hardware no logran despertar la acogida del público hasta tanto no cuenten con el soporte lógico suficiente (software), tal como acontece cuando se lanza al mercado un nuevo microprocesador, o cuando aparece un nuevo dispositivo como el multimedia, o cuando se mejora el desempeño de alguno de los periféricos, como sucede cuando se eleva la resolución de los monitores.

La electrónica de consumo, que ocupa el segundo lugar en ventas de equipos, suministra los aparatos asequibles a las grandes masas y que son utilizados en el hogar para el entretenimiento y la cultura, como televisores, radios, grabadoras, equipos de sonido, juegos, relojes y calculadoras.

El sector de las telecomunicaciones se remonta a los orígenes de la electrónica a partir de la segunda mitad del siglo XIX, con la telegrafía primero y luego con la telefonía y la

radio. Hoy día las telecomunicaciones abarcan, además de los sistemas tradicionales, nuevas tecnologías como la fibra óptica, los sistemas satelitales y la telefonía móvil celular.

Mientras en el mundo las telecomunicaciones ocupan el tercer lugar en ventas de equipos, en Colombia ocupan el primer lugar, sin tener en cuenta la electrónica de consumo, según un estudio realizado en 1988 (ver referencia (6)).

A la par con el tradicional y permanente interés de la industria por elevar su productividad, en las últimas 3 décadas del siglo XX han surgido otros paradigmas a nivel industrial, como los de aumentar la eficiencia energética y reducir la contaminación ambiental. De la solución de estos problemas se ocupa, junto con otras disciplinas, la electrónica industrial. Por ejemplo, para elevar la productividad de las industrias de procesos, la electrónica industrial ofrece equipos como los sistemas de control distribuido, los transmisores inteligentes y los analizadores en línea; mientras que para elevar la productividad de la industria manufacturera ofrece equipos como robots y sistemas de control numérico.

El último sector que figura en la tabla de equipos electrónicos es el de la electrónica automotriz, que aunque todavía se cataloga por el volumen de sus ventas entre los más modestos, es uno de los de mayor crecimiento. Los

modelos nuevos de los vehículos automotores incorporan, cada vez con mayor frecuencia, sistemas microprocesados o sea microcomputadores de propósito especial) para el manejo de sensores, indicadores, alarmas y especialmente para el manejo de la inyección electrónica, que está desplazando al viejo carburador, permitiendo aumentar la eficiencia del motor.

2.2 Los componentes electrónicos

Los equipos electrónicos se fabrican con insumos denominados *componentes*, empleando un proceso que se inicia con la labor de soldar los semiconductores y demás componentes sobre los circuitos impresos, para formar las tarjetas, y luego seguir con el montaje de dichas tarjetas dentro de las cajas, quedando de esta manera contruidos los instrumentos.

Los componentes electrónicos son de 2 tipos:

- Semiconductores o componentes activos
- Componentes pasivos

Los *semiconductores* pueden ser de 3 tipos: Circuitos Integrados, dispositivos discretos y dispositivos optoelectrónicos.

Los *componentes pasivos* involucran una variada gama de dispositivos tales como: circuitos impresos, resistores, condensadores, conectores, cables, fuentes y tubos de rayos catódicos; estos últimos de uso todavía como pantallas en los televisores y en los monitores de los computadores.

El mercado mundial de componentes electrónicos en 1992 fue de 160.000 millones de dólares (ver referencia (2)), distribuidos de la siguiente forma:

Semiconductores	US \$ 90.000 millones
Componentes pasivos	US \$ 70.000 millones

Del total de ventas de semiconductores, el 75 % corresponde a los Circuitos Integrados, que son los dispositivos que encierran dentro de una misma cápsula muchos transistores, variando su número entre unas pocas decenas para el caso de los circuitos lógicos más sencillos, hasta más de 16 millones para el caso de las memorias de 16 Megabits. Circuitos que de otra manera tendrían que construirse con elementos discretos ocupando grandes espacios e incrementando proporcionalmente su costo y su vulnerabilidad.

2.3 La microelectrónica

Ahora se puede contestar la pregunta inicial: ¿Qué es la microelectrónica?

La microelectrónica es la tecnología de desarrollo y de producción de Circuitos Integrados, con el fin de lograr empacar dentro de unas pastillas de silicio de unos pocos centímetros cuadrados de extensión miles y hasta millones de transistores, reduciendo cada vez más las dimensiones de estos transistores, que en el momento actual pasan por el orden de las 0.5 micras.

Aunque en electrónica los diferentes sectores son interdependientes y se complementan unos con otros, - por ejemplo el hardware requiere del software y viceversa, los equipos electrónicos requieren de los componentes y estos a su vez requieren de los primeros porque de otra manera no tendrían mercado, - sin embargo es un hecho, algunas veces aceptado tácitamente y otras veces planteado explícitamente, que la microelectrónica constituye el factor clave, el decisivo dentro de la electrónica.

Pero ¿por qué la microelectrónica constituye el factor dirigente de la industria electrónica, siendo que su mercado apenas representa el 7 % del total? Porque quien domine la microelectrónica esta en capacidad de dominar toda la industria electrónica y por esa vía, bien sea los países independientes tratan de asegurar su desarrollo autónomo y sostenido, o bien sea las potencias tratan de asegurar su predominio sobre las demás. La carrera en la electrónica entre los países más avanzados o entre las empresas más poderosas de esos países, radica en ver quien saca primero al mercado la siguiente generación de memorias, o la siguiente generación de microprocesadores de mayor velocidad y desempeño.

A mediados de los 80 el gobierno y las principales empresas norteamericanas del ramo, -alarmados por haber perdido el liderazgo en la industria microelectrónica frente a las compañías japonesas, - promovieron y financiaron conjuntamente un centro de investigaciones cuyo objetivo no era otro que el de recuperar dicho liderazgo. La administración Reagan, que en ese entonces ocupaba el gobierno de los EEUU, no podía aceptar que los transbordadores espaciales y los misiles estadounidenses dependieran de chips japoneses. Este centro de investigación se fundó en 1987 bajo la sigla SEMATECH, habiendo sido encomendada su organización y dirección al más prestigioso de los líderes de la industria electrónica norteamericana en las últimas 2 décadas, Robert Noyce (fallecido en 1992), quien fuera uno de los inventores de los Circuitos Integrados en 1957 y principal fundador en la década del 60 de la exitosa compañía INTEL.

Dos años después de la fundación de SEMATECH se revierte la tendencia, que ya llevaba más de 10 años, de ascenso de la industria microelectrónica japonesa a expensas de la norteamericana, y en 1992 INTEL se convierte en el primer productor de semiconductores en el mundo, posición que no ocupaba una firma norteamericana desde 1984. En 1993 EEUU vuelve a convertirse en el primer productor mundial de semiconductores con un 41.9 % de la producción frente a un 41.4 % del Japón (ver referencia (2)).

3. ESTADO DEL ARTE Y PROSPECTIVA DE LA ELECTRÓNICA

Siendo la electrónica una de las tecnologías más dinámicas, las compañías de vanguardia deben innovar continuamente sus productos con el fin de no quedarse rezagadas, ya que usualmente los equipos se vuelven obsoletos en pocos años, como sucede por ejemplo con los computadores personales.

3.1 Estado del arte y prospectiva de la microelectrónica

Las memorias semiconductoras fueron introducidas en 1970 por INTEL y desde ese entonces su capacidad se ha venido duplicando cada 2 años o menos, habiéndose cumplido los pronósticos que en tal sentido hiciera Gordon Moore, uno de los fundadores de INTEL, y que para esa época parecían demasiado optimistas.

Los primeros chips de memorias semiconductoras tenían una capacidad de 1 kilobit. Hoy día son comunes los de 4 y 16 Megabits, pero ya se ha iniciado la oferta de los de 64 Megabits y en 1994 fueron presentados los primeros prototipos de 256 Megabits, - que serán comerciales a partir de 1996. Los principales fabricantes de memorias ya han comenzado a desarrollar el chip de 1 Gigabit, utilizando tecnologías de 0.1 micras, proyectándose su aparición comercial para el año 2002.

Paralelamente a este proceso de crecimiento de las memorias, se ha venido presentando otro no menos espectacular, el de los microprocesadores. Mientras los primeros microprocesadores producidos por INTEL en 1971, manejaban 4 bits, operaban a una velocidad inferior a 1 megaciclo y contenían 2300 transistores, los microprocesadores de hoy, como el Pentium, manejan 64 bits, operan a 100 megaciclos y contienen más de 3 millones de transistores

Entre las tecnologías de fabricación de Circuitos Integrados predomina la tecnología CMOS con un 74 % del

mercado, seguida de la bipolar con un 12 %. De las restantes vale la pena mencionar la de arseniuro de galio, que por ser la más rápida es la que se utiliza en altas frecuencias (como en telecomunicaciones), pero todavía no se vislumbra ninguna tecnología que pueda disputarle el predominio a la tecnología CMOS.

Como cada vez se hace más difícil con el proceso de fabricación actual (fotolitografía), reducir las dimensiones de los transistores, se están ensayando otras alternativas, como el montaje de varios chips dentro de una misma envoltura y el empaquetamiento de las memorias en 3 dimensiones.

Hasta ahora han sido infructuosas las investigaciones que se han realizado con miras a encontrar dispositivos distintos al transistor, tales como los dispositivos ópticos de conmutación, porque no se ha podido superar el desempeño de los primeros (ver referencia (3)). Esto significa que la tendencia en microelectrónica en lo que resta de este siglo y en los primeros años del siglo XXI va a seguir siendo la misma de los últimos 25 años, o sea continuar desarrollando y mejorando los dispositivos actuales. Mientras no se presente una invención comparable en su alcance a la del transistor, ocurrida en 1947 y que significó el fin del reinado de los tubos, o a la del Circuito Integrado ocurrida 10 años después, no se alterará la actual tendencia de la microelectrónica.

Los costos que ahora acarrea el desarrollo de la microelectrónica se han elevado tanto, que resultan onerosos aún para los grandes fabricantes, siendo esta la razón de los múltiples convenios pactados en años recientes entre los gigantes norteamericanos, japoneses y europeos para la Investigación y el Desarrollo (I&D) de nuevos productos, tal como el celebrado entre IBM, Toshiba y Siemens para la I&D del chip de 256 Megabits a un costo de 1000 millones de dólares. Cifra esta a la que se debe agregar otra inversión de aproximadamente 1000 millones de dólares para el montaje de la planta de fabricación de tales chips, empleando tecnologías de 0.3 a 0.35 micras.

3.2 Estado del arte y prospectiva de los equipos electrónicos

Al contrario de lo que sucede con las novedades en microelectrónica, que usualmente pasan inadvertidas para el gran público que se beneficia de ellas, las novedades en equipos si causan gran impacto y son las que más impresionan al lego en la materia.

Una de las novedades en el campo de los computadores ha sido la multimedia, que todavía esta en sus inicios pero de

la que se esperan grandes desarrollos, pudiendo ser uno de ellos el de la realidad virtual.

Un kit de multimedia consta de 3 componentes: La unidad de Disco Compacto (CD), la tarjeta de audio y los parlantes.

Los cuellos de botella de los actuales sistemas multimedia se encuentran en la unidad de CD y son:

- En primer lugar la capacidad de los CDs, que aunque parece grande (640 Megas), solo permite almacenar unos pocos minutos de video.
- En segundo lugar, su velocidad de lectura no es suficiente para transmitir al monitor todos los detalles de las imágenes en movimiento.

Los fabricantes de unidades CD están trabajando en la solución de estos problemas, habiéndose construido ya experimentalmente unidades que almacenan más de 2 horas de video y que transmiten a una velocidad 6 veces mayor que la original. También se investiga en el desarrollo de unidades, que a un costo accesible al público puedan, además de leer, también grabar los CDs. Cuando dentro de pocos años estos logros sean comerciales, las videograbadoras de hoy irán a parar al cuarto de San Alejo.

Las *pantallas planas* se vienen utilizando desde hace varios años en los computadores portátiles, pero como todavía no pueden competir por precio ni por resolución con los tubos de rayos catódicos, tanto en EEUU como en Japón se están investigando nuevas tecnologías optoelectrónicas, de las cuales la más prometedora es la de visualización de campo emisor, conocida como FED.

Las ventajas de las pantallas planas son obvias:

1. Ocupan menos espacio.
2. No generan radiación, la que en los tubos puede ser muy dañina, sobre todo a los usuarios de los computadores que pasan largas horas frente a los equipos.
3. Consumen menos energía.

Por lo anterior es posible que en pocos años los voluminosos tubos de rayos catódicos, empleados hoy día en los televisores y en los monitores de los computadores, también vayan a parar al cuarto de San Alejo

Las herramientas computacionales que se están perfeccionando para el reconocimiento y la síntesis de la voz así como para el reconocimiento de imágenes, y que involucran tanto hardware como software, prometen interesantes logros en el futuro próximo. Con estas herramientas será posible librarnos de la tiranía del teclado, se simplificara el manejo de aviones, helicópteros y vehículos automotores, lo mismo que la operación de las plantas industriales, y se cumplirá el sueño de incorporar visión en los robots.

Desde comienzos de los 80 varias compañías japonesas y europeas vienen trabajando independientemente en la *televisión de alta definición*. Esta será sin duda la televisión del siglo XXI, manejando además las señales digitalizadas e integrada a un computador, de tal forma que será interactiva, permitiendo al usuario escoger el programa deseado en cualquier momento, sin estar sometido a los caprichos de la programación.

Las nuevas tecnologías están originando toda una revolución en el campo de las telecomunicaciones, que ha causado un remezón en las tradicionales y a veces paquidérmicas compañías del ramo, a las que les está brotando competencia por doquier, gracias a la irrupción de tecnologías como la telefonía móvil celular, los sistemas satelitales y la fibra óptica. Esta última aunque es menos popular que las 2 primeras, es la que ofrece mayor capacidad de transmisión, permitiendo enviar por un mismo haz más de 10.000 conversaciones telefónicas o muchas señales de video simultáneamente. La última generación de fibras ópticas, que emplea amplificadores de fibra dopados con Erbium, puede transmitir más de 1000 km a la fantástica velocidad de 100 Gigabits por segundo (ver referencia (4)).

La unión entre los computadores y las telecomunicaciones ha dado lugar a un sinnúmero de aplicaciones, especialmente en los sectores de la banca y el comercio, pero también en los campos de la educación y de la cultura gracias a las redes de computadores, como la ya popular INTERNET. Esta unión también ha hecho posible la oficina virtual, para lo cual solo se requiere de un computador dotado de un módem.

Como se explicó en la segunda sección de este artículo, la industria hoy día depende de la electrónica para resolver sus más acuciantes problemas.

En las industrias de procesos se están usando desde la década pasada los *transmisores inteligentes*, que son instrumentos de medición dotados de microprocesadores, que

por medio de programas (software) pueden realizar funciones adicionales como: autodiagnostico, linealización, compensación por cambios en las condiciones de operación y control del proceso. Con la próxima entrada en vigencia de la norma conocida como "bzls de campo", se consolidara este tipo de instrumentos, pero ya no transmitiendo en forma análoga sino digital y obteniendo otras ventajas como: extensión del control distribuido por toda la planta, menos posibilidades de degradación por ruido, empleo de menor cantidad de cables en el sistema de control y posibilidad de interconectar entre si equipos de diferentes fabricantes.

En la industria manufacturera se continuará con la tendencia a dotar a los robots de sensores, especialmente para el reconocimiento de imágenes y de voz.

Las perspectivas para las industrias que se aferren a los sistemas tradicionales de producción no son nada halagüeñas. Las industrias que no se modernicen, que no incorporen las tecnologías avanzadas a sus procesos de producción, perderán competitividad y estarán condenadas irremediablemente a desaparecer.

4. SITUACION DE LA INDUSTRIA ELECTRONICA NACIONAL

Los esfuerzos que desde los inicios de la década del 80 han venido realizando preclaros exponentes de las nuevas generaciones de ingenieros electrónicos y electricistas, por crear una industria electrónica nacional, han tenido hasta ahora muchos tropiezos y han sido infructuosos. Los pasados 15 años han sido testigos del surgimiento de cientos de pequeñas empresas que aspiraban a consolidarse en su ramo, pero hoy día las que subsisten apenas si han logrado crecer.

La industria electrónica nacional está abocada a enfrentar las mismas dificultades a las que está sometida en el país toda la pequeña y la mediana industria, dificultades que se pueden resumir en:

1. Escasez de créditos o intereses confiscatorios en caso de que se consigan.
2. Ausencia de políticas de fomento por parte del Estado, aún en la época anterior a la apertura económica.

Además la industria electrónica debe afrontar otras dificultades, propias de su naturaleza, tales como:

1. Dificultad para conseguir internamente los componentes electrónicos debido a lo reducido del mercado.

2. Dificultad para conseguir las herramientas necesarias para la I&D, tales como programas de simulación, programas CAD y sistemas de desarrollo para microprocesadores y microcontroladores.
3. Dificultad para conseguir la información técnica actualizada, en especial los manuales de los fabricantes de semiconductores.
4. Deficiente calidad de los componentes metalmecánicos fabricados en el país, como cajas y chasis.

La apertura facilitó la entrada al país de productos que en algunos casos resultaron, con respecto a los producidos acá, más económicos o de superior calidad o ambas cosas, ejemplos de tales productos fueron los controladores digitales de procesos, los indicadores digitales de temperatura para múltiples termopares, los variadores de velocidad para motores eléctricos, los reguladores de voltaje y las UPSs.

Algunas empresas pasaron de ser fabricantes a ser distribuidoras de esos mismos equipos pero importados.

De todas maneras, según el segundo censo realizado en 1992 por la Asociación de Entidades del Sector Electrónico - ASESEL, en el país existen 194 empresas fabricantes, que se desempeñan en el campo de la *electrónica profesional*, el que comprende productos no de consumo masivo sino especializados, en donde es más fácil competir. Ejemplos destacados de tales productos fabricados en el país son los siguientes: alarmas antirobo para vehículos y edificaciones, reguladores de voltaje, inversores, cargadores de batería, UPSs, terminales de consulta de saldos bancarios, controles para acceso de personal, lectores de banda magnética, pequeñas centrales telefónicas, material didáctico para el aprendizaje de la electrónica, circuitos impresos de doble cara con hueco metalizado y teclados de membrana.

Casi todas las empresas del sector electrónico profesional son pequeñas, pero revisten un carácter nacional, derivado principalmente del hecho de cumplir aquí todo el proceso de producción, incluyendo las labores de investigación y desarrollo de los productos. En cambio hay otras empresas, por cierto muy pocas, subsidiarias de compañías multinacionales que aquí solo se limitan a ensamblar sus productos.

Según el censo ya citado, el 96 % de las empresas del sector electrónico se concentran en las 3 principales ciudades: Bogotá, Cali y Medellín. El resto se ubican en ciudades intermedias como Pereira y Popayán.

5. QUE DEBE HACER EL PAÍS?

Para la mayoría de los autores que se han ocupado del tema, el atraso tecnológico del país se puede superar haciendo énfasis en el fomento de las actividades científicas e investigativas, más si se tiene en cuenta que Colombia solo destina entre el 0.1 y el 0.2 % del Producto Interno Bruto a estas actividades (DNP, 1991), mientras que en los países industrializados, con economías que son 20 o más veces mayores que la colombiana, se destina entre el 2 y el 3 %.

Pero el desinterés del país por las actividades investigativas no es una razón suficiente y ni siquiera la principal, para explicar que después de 15 años de esfuerzos no haya podido despegar el sector electrónico.

La causa más importante del atraso de la industria electrónica en el país, es la misma que explica el de los demás sectores productivos, y radica en la ausencia de condiciones políticas y económicas favorables al desarrollo, en la no existencia de un ambiente propicio para el crecimiento de las empresas innovadoras.

Sólo cuando se establezcan tales condiciones favorables al desarrollo productivo, complementadas con la

política de fomento a las actividades de I&D, se podrá generar en el país un desarrollo tanto de la industria electrónica como de la industria microelectrónica.

Es el desarrollo de la producción el que jalona los avances de la ciencia y la investigación y no al contrario. Los intentos que se han realizado por aclimatar en el país un desarrollo productivo a partir de la formación de élites científicas y técnicas, han fracasado. Así sucedió durante la segunda mitad del siglo XIX, cuando sucesivamente varios gobiernos enviaron a decenas de jóvenes a cursar carreras técnicas en universidades norteamericanas y europeas, con la intención de promover el desarrollo nacional, según lo relata el historiador Frank Safford en su libro "El ideal de lo práctico" (ver referencia (5)). La mayor parte de estos jóvenes al regresar al país resultaron ocupándose de las mismas actividades tradicionales que entonces ejercían los juristas y gramáticos que detentaban el poder. Los pocos que aprovecharon sus estudios en el exterior fueron quienes organizaron las 2 primeras facultades de Ingeniería del país: la de Bogotá que hoy forma parte de la Universidad Nacional y la Facultad de Minas de Medellín. Este fue el único resultado positivo de toda esta experiencia y tal vez la justificó.

REFERENCIAS

1. CORREA, Nelson. "Estudio prospectivo sobre altas tecnologías en Colombia: El caso de la microelectrónica". Ponencia presentada en el simposio del programa de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática. Popayán. 1992.
2. CURTOIS, Bernard. "CAD and testing of ICs and systems: Where are we going?". Estudio realizado para el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNRS) de Francia. Grenoble. 1993.
3. KEYES. "The future of the transistors". *Scientific American*. Junio. 1993.
4. DESURVIRE. "Comunicaciones ópticas: La quinta generación". *Investigación y Ciencia* Marzo. 1992.
5. SAFFORD, Frank. El ideal de lo práctico. Edición conjunta de la Universidad Nacional y El Ancora. Bogotá. 1989.
6. MARTÍNEZ, Demetrio. "Visión general del sector electrónico en Colombia". Seminario sobre políticas y experiencias en sectores económicos de tecnologías avanzadas en América Latina y en Colombia. Manizales. 1988.
7. DEPP AND HOWARD. "Flat panel displays". *Scientific American*. Marzo. 1993.
8. STIX. "Trends in semiconductor manufacturing - Toward Point One". *Scientific American*. Febrero. 1995.