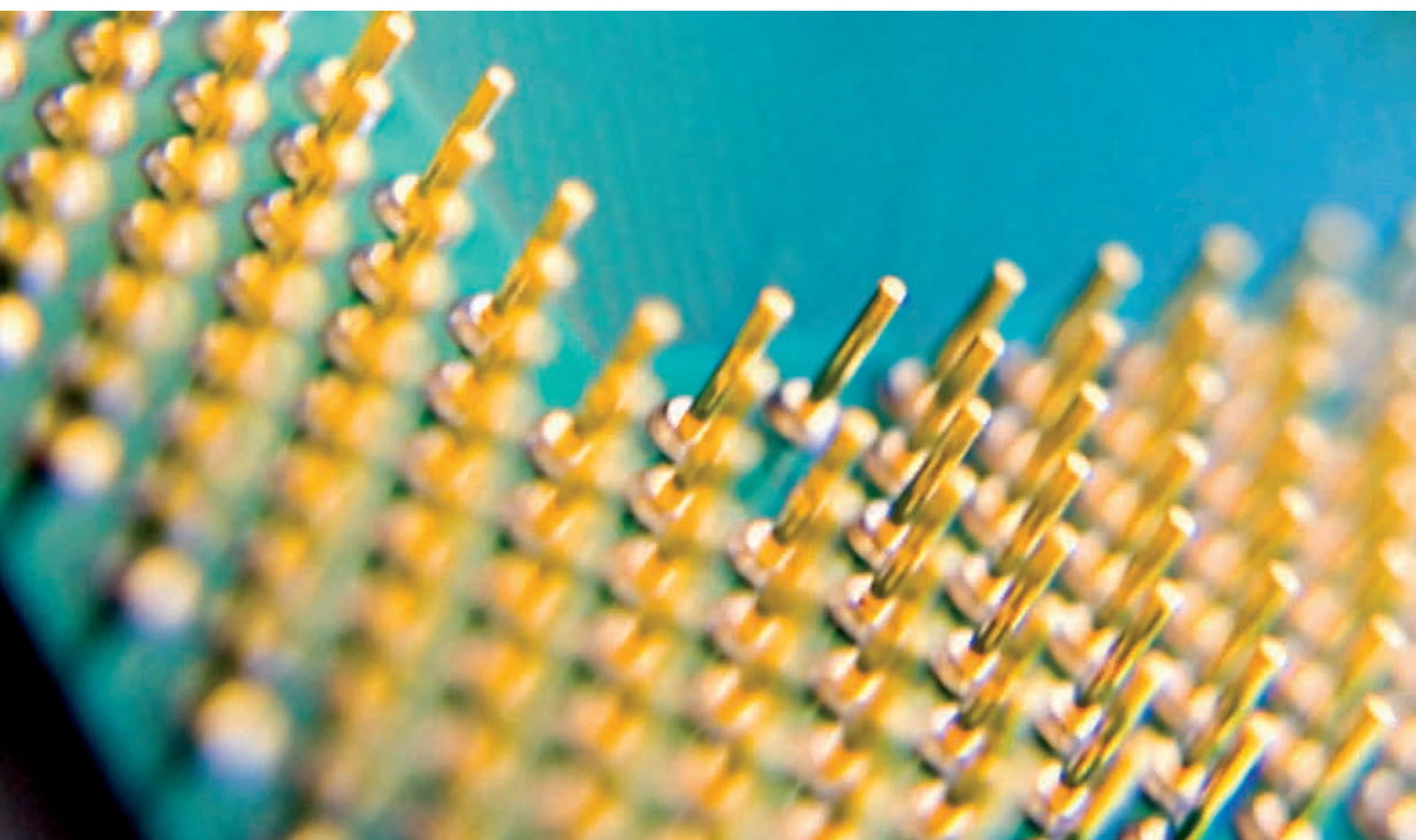




INDUSTRIA

NÚCLEO SOCIO-PRODUCTIVO ESTRATÉGICO COMPONENTES ELECTRÓNICOS



DOCUMENTO DE REFERENCIA



ARGENTINA
INNOVADORA 2020

PLAN NACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA
E INNOVACIÓN PRODUCTIVA



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

"2013 - AÑO DEL BICENTENARIO DE LA ASAMBLEA GENERAL CONSTITUYENTE DE 1813"

Componentes electrónicos
Documento de referencia
Ing. Daniel Lupi¹
Agosto de 2013

¹ Este documento fue elaborado por el Ing. Daniel Lupi con la colaboración del Ing. Gabriel Queipo. Se trata de un material técnico para facilitar el trabajo de la Mesa de Implementación. Las opiniones expresadas en este documento pueden no coincidir con la posición que finalmente asuma el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

Contenido

1. Introducción	3
2. Caracterización del sector	4
2.1. La industria electrónica global	4
2.2. Los semiconductores.....	9
2.3. Los circuitos impresos	15
3. Caracterización del sector en la Argentina	16
4. Oportunidades, desafíos futuros y ámbitos de intervención.....	20
4.1. Posibles ámbitos de intervención	21
5. Referencias-Bibliografía Consultada	25



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

1. Introducción

Por el uso intensivo que hace del conocimiento, por su capacidad de constituirse en plataforma de generación de innovaciones de aplicación en el desarrollo económico y social y por el impacto y penetración creciente que tiene en todos los sectores económicos y en diferentes ámbitos del quehacer humano en general, la industria electrónica debe ser uno de los pilares de la estrategia de desarrollo productivo del país.

La tecnología electrónica contribuye enormemente al incremento de la productividad de la economía mundial, al hacer posibles mejoras en diversas actividades, en especial aquellas incluidas en la categoría "tecnologías de la información y las comunicaciones". Los progresos del "software" y de los servicios de comunicaciones por ejemplo, son en gran medida posibles gracias a la mejora de las prestaciones del "hardware" y al desarrollo de nuevos productos electrónicos. Por su parte, los sistemas destinados al control y automatización de procesos, permiten la multiplicación de los volúmenes de producción y la mejora de la calidad en casi todas las ramas industriales. Por ello, la mayor parte de los bienes de capital y de consumo exhiben hoy un elevado contenido de electrónica.

Dentro del amplio espectro del complejo electrónico, el diseño y fabricación de componentes se destaca por su peso relativo y por ser una de las ramas tecnológicamente más dinámicas del presente y muy probablemente lo siga siendo en el futuro. Detrás de sus logros asombrosos, se encuentran componentes de escala micrométrica o nanométrica de gran complejidad que son el resultado de muchas horas hombre de diseño. A simple vista, la masividad y el nivel de sofisticación tecnológico que caracterizan a esta rama se erigen como obstáculos insalvables para su desarrollo en Argentina. Sin embargo, un análisis más detenido de los cambios registrados en la industria electrónica mundial en las últimas décadas y de las capacidades locales, permite identificar oportunidades para la industria nacional.

En este documento se reseña el estado actual de la industria en el mundo y en la Argentina y se señalan algunas líneas de acción que podrían favorecer el desarrollo de la rama en el país.



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

2. Caracterización del sector

2.1. La industria electrónica global

La industria de los componentes electrónicos se inscribe en un marco más amplio que es el de la industria de los sistemas electrónicos, cuyo alcance sólo puede definirse por extensión a partir de la consideración de un amplio conjunto de productos intermedios y finales. Muchos de estos productos dependen centralmente de la tecnología electrónica para su funcionamiento y por lo tanto pueden considerarse como típicamente electrónicos (computadoras, televisores, teléfonos). A éstos deben agregarse los sistemas, que como bienes intermedios, se incorporan a bienes finales más complejos. Tal es el caso por ejemplo de los sistemas electrónicos de control utilizados en distintas funciones en los automóviles.

En la fig. 1 se presenta un esquema simplificado correspondiente a la cadena de valor de la industria electrónica mundial. En el esquema resulta notorio la elevada multiplicación de valor que sufren los materiales al transformarse en componentes y posteriormente en sistemas electrónicos. Una característica distintiva (aunque no exclusiva) de esta cadena es la importancia de los gastos de I&D, en especial en los eslabones con márgenes operativos mayores (materiales y componentes activos). Con menor incidencia en relación con las ventas, la I&D del eslabón de sistemas electrónicos, por su tamaño, representa más de la mitad del gasto total con esa finalidad en toda la industria. Esta actividad se caracteriza por la alta incidencia de los costos fijos emergentes de los gastos en I&D, publicidad y estructura de ventas. Las actividades otrora integradas en las grandes corporaciones de la industria electrónica y hoy tercerizadas como el ensamblado de circuitos integrados o la fabricación de sistemas bajo contrato, funcionan con una lógica opuesta. Se trata de producciones con baja inversión en I&D, baja incidencia de los costos fijos y bajos márgenes operativos (Queipo, 2010).

Globalmente, los grupos de productos finales con mayor peso en valor de la producción son: Procesamiento de datos y máquinas de oficina, comunicaciones y consumo (fig. 2). Estos tres segmentos definidos en términos tradicionales tienden a converger como resultado de la evolución técnica de los productos que los conforman. Así, los teléfonos móviles han adquirido capacidad de realizar funciones típicas de los procesadores de datos y de artículos de consumo como las cámaras fotográficas. De igual modo los televisores tienen hoy capacidad de comunicación y las computadoras funcionan en gran medida como artículos de entretenimiento, típicamente asociado al consumo. Por otra



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

parte, los otros segmentos: instrumentación¹, electrónica industrial², electrónica aplicada al sector comercial o de negocios, aplicada a la defensa y al gobierno y finalmente electrónica automotriz resultan más estables en su composición, aunque no están exentos de diferencias de interpretación, dependiendo de la fuente estadística utilizada. Con independencia de los problemas de clasificación, queda clara la tendencia a la expansión relativa de los segmentos relacionados con las comunicaciones, el consumo y el sector automotor (fig. 2).

En los últimos años una buena parte de las innovaciones incorporadas a los vehículos automotores han estado vinculadas con la electrónica. Es dable esperar que esta tendencia continúe ya que la tecnología electrónica provee el medio más eficiente y en algunos casos el único disponible, para lograr las mejoras funcionales que se planean incorporar a los vehículos en el futuro cercano. La participación del valor de los sistemas electrónicos contenidos en los vehículos se halla en pleno crecimiento. En 1980 la electrónica incorporada representaba alrededor del 2% del valor de producción de los vehículos automotores; para 1997 esa relación se había incrementado al 10-15% (Krueger, Grace, 2001). En la actualidad se estima que el contenido de electrónica definido en estos términos es de alrededor del 30%. Las fuerzas que impulsan este crecimiento son fundamentalmente la utilización por parte de los fabricantes de automóviles de las innovaciones electrónicas como elemento diferenciador de sus productos y la legislación que en países desarrollados aumenta sus exigencias en materia de seguridad y emisiones contaminantes.

A partir de la década del 70 la industria electrónica fue la principal fuerza impulsora en el desarrollo de varios países asiáticos. El crecimiento de la producción en esos países se debió en gran medida a las estrategias adoptadas por las principales multinacionales electrónicas. Así gran parte de la producción naciente estaba vinculada con la tendencia a fragmentar los procesos y relocalizar la fabricación de componentes específicos. Los factores clave en este proceso fueron el aprovechamiento del bajo costo de la mano de obra, especialmente en las tareas de mayor trabajo intensivo (ensamblaje final), la reducción de los ciclos de producto que incrementó la necesidad de relocalizar procesos vinculados con productos en la fase descendente de su ciclo y la menor conflictividad de estos países en relación con las trabas al comercio. De esta forma algunas economías emergentes sirvieron de base para la producción de componentes y sistemas que fueron demandados por los principales mercados de consumo (países industrializados). Estos últimos, mediante la acción de sus multinacionales, accedían a productos electrónicos a menor costo, retenían las actividades de mayor valor agregado (diseño, fabricación de

¹ Para la fuente citada en la fig. 2 incluye la electromedicina y los instrumentos de ensayo, medición y análisis, entre otros.

² Para la fuente citada en la fig. 2 incluye equipo de producción, de control y sistemas ambientales, entre otros.



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

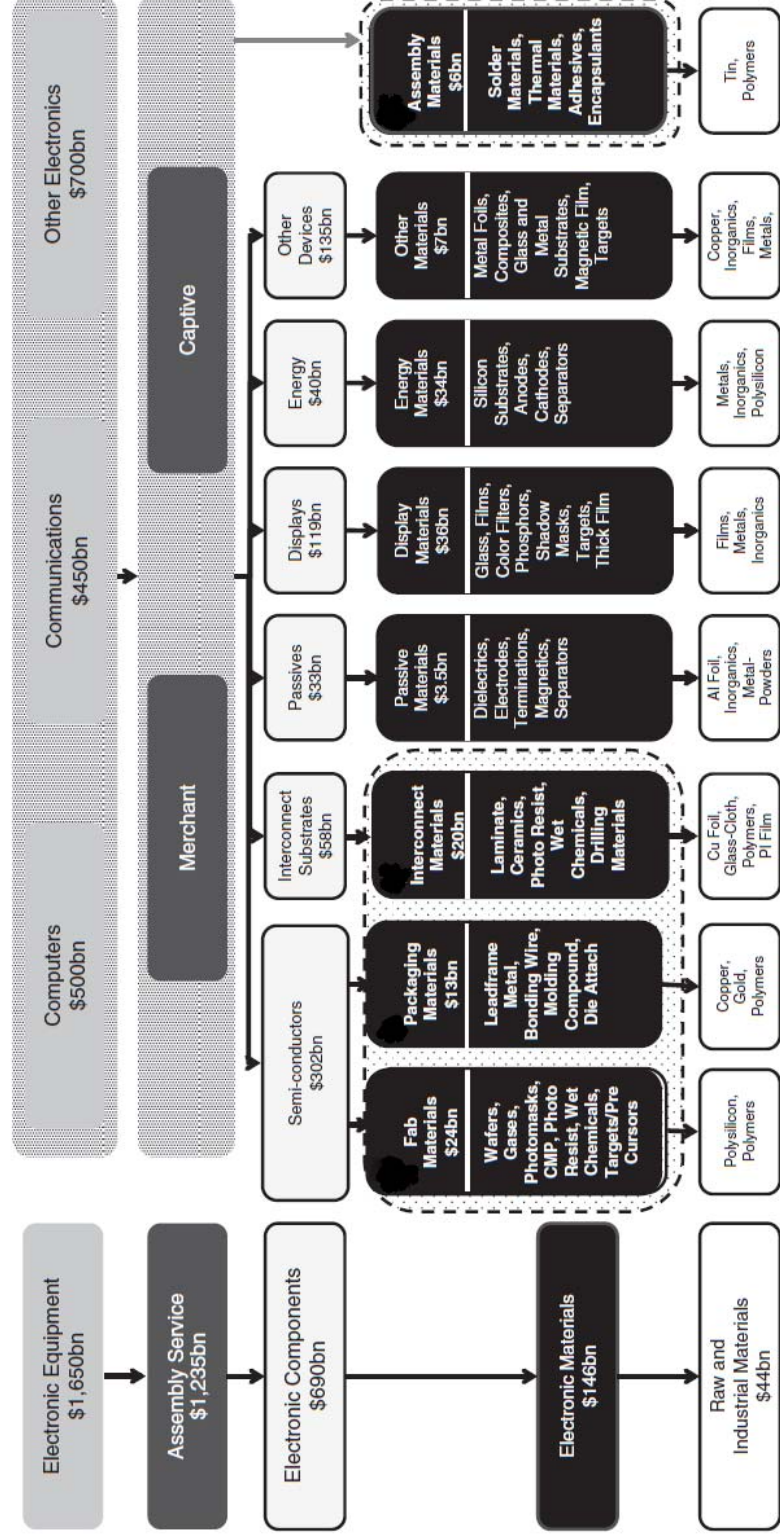
componentes críticos, comercialización) y capturaban los retornos de las inversiones realizadas en el extranjero.

Sin perjuicio de la receptividad a inversiones externas, algunos países adoptaron políticas orientadas al dominio de ciertas tecnologías por parte de empresas industriales de capital nacional. De esta forma, Corea del Sur se focalizó en la producción masiva de una estrecha franja de productos de consumo y componentes de propósito general (como memorias para computadoras y "displays") con marca propia. Taiwán en cambio se concentró en la provisión de las empresas de alcance global dueñas de marcas líderes mediante producción por contrato, con un esfuerzo especial en la mejora de procesos, alcanzando el liderazgo en circuitos integrados y en "hardware" informático. Por su parte, Singapur surgió como base para la fabricación con bajo costo y gran calidad para las redes productivas mundiales, desarrollando paralelamente su base técnica para alentar la I&D en el país.

Como consecuencia de ese proceso la industria electrónica mundial presenta una dispersión geográfica considerable, con la predominancia de Asia, principalmente China, Japón, Corea del Sur y Taiwán. Estados Unidos, Japón y Europa concentran todavía más del 60% del ensamblado final de sistemas electrónicos. La participación de estas potencias varía a medida que se asciende en la cadena de valor. Así, el papel de América del Norte en la producción de componentes y en su montaje en los circuitos impresos (ensamblaje electrónico) es sustancialmente menor, con un mayor peso de Asia en esas tareas. La mayor parte de las ventas de sistemas electrónicos se concentra en pocos países. Las 2/3 partes de las ventas finales se realizan en sólo 5 países y el 90 % en sólo 20



Fig. 1. Cadena de valor global de la industria electrónica. Año 2012.



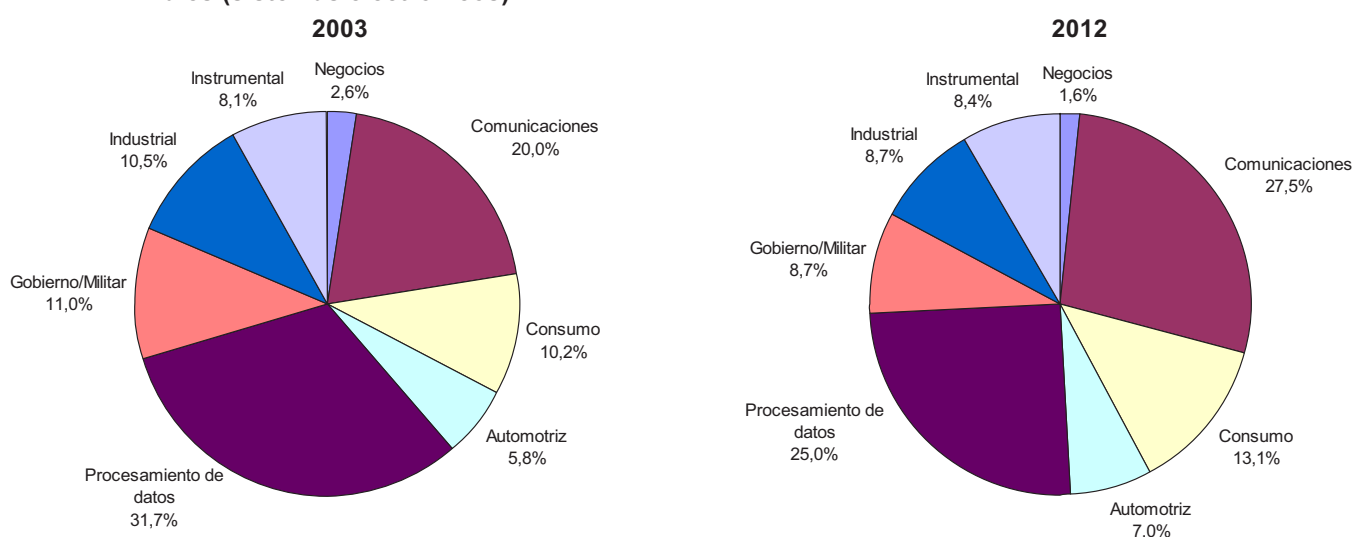
Fuente: Prismark Partners . NOTA: \$ bn corresponde a miles de millones de dólares estadounidenses .



Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva

"2013 - AÑO DEL BICENTENARIO DE LA ASAMBLEA GENERAL CONSTITUYENTE DE 1813"

Fig. 2. Participación relativa (en valor) de los segmentos de aplicación de los productos finales (sistemas electrónicos).



Dentro de la cadena mundial, la “captura de valor” está ligada a un profundo conocimiento de los mercados finales y generalmente está reservada a los llamados “fabricantes originales de equipo” (OEM³) que venden sistemas electrónicos bajo su marca propia. De esta forma, las empresas OEM líderes procuran en la actualidad concentrarse en desarrollo de producto, venta y “marketing”, servicios tales como integración de sistemas y desarrollo de aplicaciones a medida y desprenderse de las actividades aguas arriba como la fabricación (Sturgeon, 2002). La estructura industrial descrita permite la coexistencia de OEMs verticalmente integradas y OEMs “virtuales” creadas desde el inicio sin la intención de realizar fabricación propia. Las OEMs “virtuales” como Sun Microsystems y Cisco diseñan algunos de sus componentes claves y todos los circuitos a nivel de sistemas pero con inversiones prácticamente nulas en la fabricación de semiconductores y montaje final del producto. Empresas como Hewlett Packard y Ericsson han vendido la mayor parte de sus facilidades destinadas a fabricación a contratistas (EMS⁴) como Solectron y Flextronics. Así una empresa líder puede recurrir a una “system design house” para el diseño especializado y a una empresa EMS para que realice las compras de componentes estandarizados y realice el ensamblado de los sistemas.

³ OEM es la sigla de Original Equipment Manufacturer.

⁴ EMS es la sigla de Electronic Manufacturing Service.



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

2.2. Los semiconductores

De la gran diversidad de componentes utilizados por la industria electrónica en sus etapas finales, los semiconductores constituyen el grupo de mayor relevancia debido a su peso relativo, no sólo en valor (43,7% de las ventas mundiales de componentes corresponden a semiconductores) sino también por su dinámica tecnológica.

Desde el punto de vista funcional puede decirse que los semiconductores son el "corazón" de cualquier equipo electrónico. El valor de los semiconductores contenidos en los sistemas supera en promedio el 20% y presenta una tendencia creciente (fig. 3).

En la literatura económica y de negocios se utiliza el término semiconductores para referirse a una familia de dispositivos (transistores, diodos, circuitos integrados, etc.), contruidos a partir de materiales semiconductores (principalmente silicio, pero también germanio, arseniuro de galio, carburo de silicio, fosfuro de indio, nitruro de galio, etc.) que constituyen el núcleo de los sistemas electrónicos modernos. Los semiconductores son componentes "activos" de los circuitos, a diferencia de otros componentes denominados "pasivos" como las resistencias, capacitores, circuitos impresos, conectores, etc. Los dispositivos semiconductores pueden presentarse como elementos individuales (discretos) o bajo la forma de circuitos (circuitos integrados o "chips").

La fabricación de circuitos integrados se realiza con un alto grado de automatización que permite una elevada productividad con la precisión requerida. Las etapas finales de encapsulado, en cambio, requieren mayor intervención humana directa. La inversión necesaria para los procesos más avanzados se encuentra en el orden de varios miles de millones de US\$. Por tal razón la adopción de las tecnologías más avanzadas se realiza a un ritmo más lento de lo que podría pensarse de una industria tan dinámica. Mientras algunos segmentos como los microprocesadores y memorias utilizan las tecnologías de niveles más avanzados, otros como por ejemplo los analógicos requieren en promedio menores niveles de miniaturización y por lo tanto tamaños mínimos característicos no tan exigentes.

La industria de los semiconductores está formada básicamente por tres tipos de empresas:

- productores integrados (IDM⁵) que diseñan, fabrican y venden sus circuitos integrados, como Intel, Samsung y ST Microelectronics;
- empresas sin fábrica o "fabless", que diseñan y venden los circuitos y tercerizan su fabricación, como Qualcomm, NVIDIA y AMD;

⁵ IDM es la sigla de Integrated Design Manufacturer.



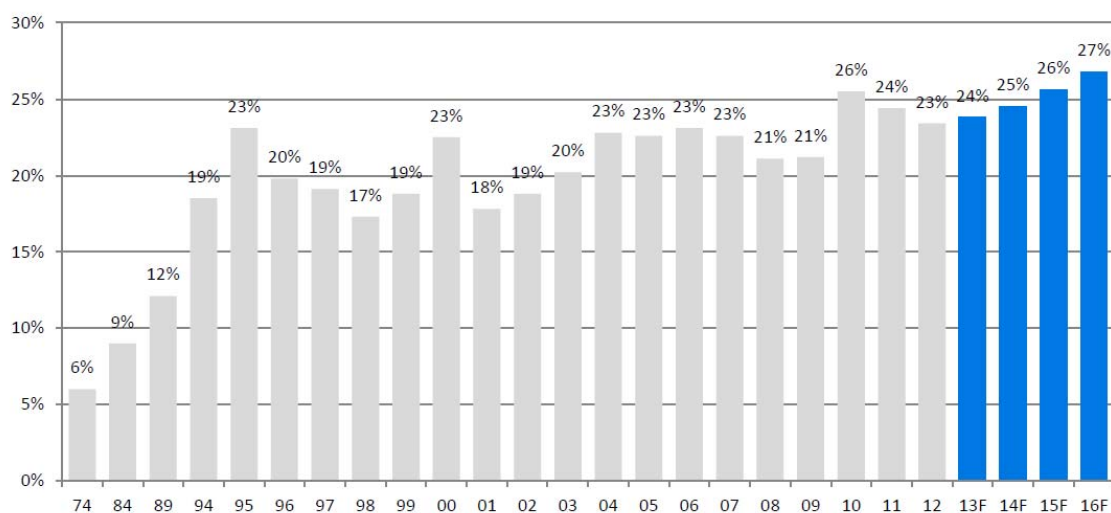
*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

- fabricantes por cuenta de terceros o "foundries", que manufacturan integrados diseñados por sus clientes, como TSMC y UMC.

Existen además empresas que venden sus diseños a fabricantes de circuitos integrados a cambio del pago de una licencia y de una participación en las ventas o "royalty" (firmas IP⁶).

En la fig. 4 se presenta un esquema de la cadena de valor mundial de los semiconductores. Nótese que la fabricación se encuentra subdividida en dos actividades: "front-end" que implica la transformación de la oblea de silicio en el "die", el circuito de silicio que una vez encapsulado será un circuito integrado; y el "back-end" que comprende básicamente la colocación de las conexiones, el encapsulado y el testeo de los chips terminados.

Fig. 3. Contenido de semiconductores en sistemas electrónicos (en valor). Años 2013 en adelante: cifras proyectadas.

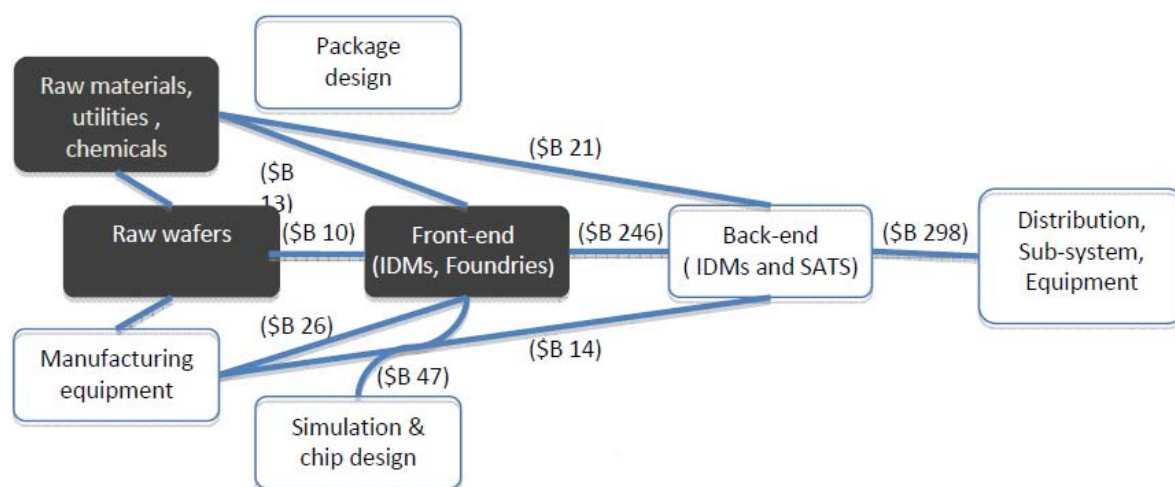


Fuente: IC Insights.

⁶ IP es la sigla de Intellectual Property.



Fig. 4. Cadena de valor mundial de los semiconductores. Año 2010, incluye ventas internas.



Fuente: Millard et al. 2012.

NOTA: \$ B corresponde a miles de millones de dólares estadounidenses.

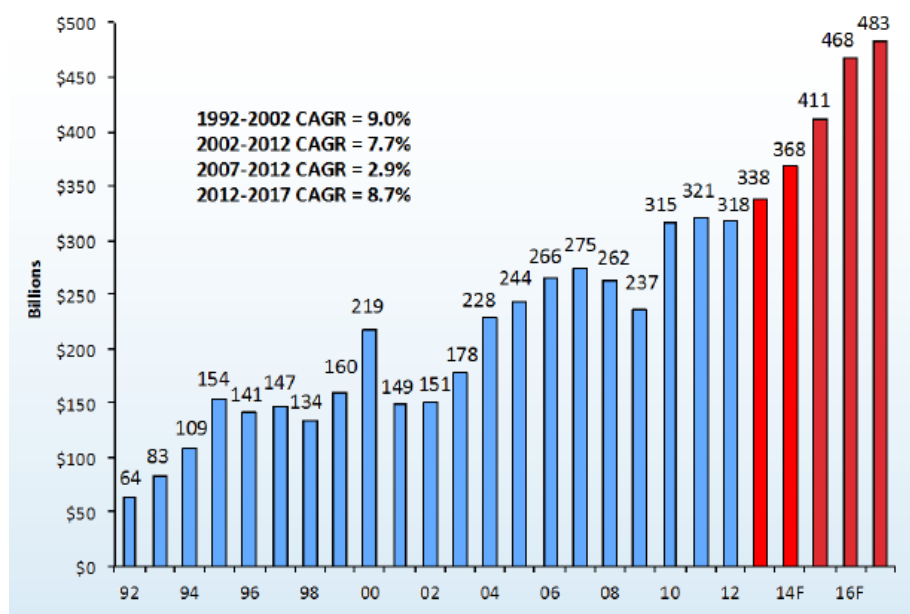
El mercado de semiconductores lleva muchos años de crecimiento sostenido a altas tasas y se espera que continúe de la misma manera impulsado por aplicaciones tradicionales que hacen un uso cada vez más intensivo de la tecnología electrónica (comunicaciones, consumo, procesamiento de datos) así como otras que se encuentran en etapas preliminares como trazabilidad de productos, tarjetas inteligentes, monitoreo en línea de pacientes, conducción automática de vehículos, etc. (fig. 5). En la literatura de negocios actual se habla de "internet de las cosas", que se refiere a la tendencia hacia la intercomunicación a través de internet de miríadas de equipos, desde maquinaria industrial y bienes de consumo hasta la infraestructura de servicios. Cisco, una de las mayores empresas fabricantes de equipos para redes, pronostica que en 2015 habrá 25 mil millones de dispositivos conectados a internet y en 2020 esa cifra se elevará a 50 mil millones (Cisco, 2013). El mercado de la computación personal y el de la telefonía móvil se encuentran limitados por el número de habitantes de la Tierra, pero las cosas, mucho más numerosas que la gente, presentan un escenario de crecimiento mucho más amplio. De allí el interés que despierta en los mayores fabricantes de integrados del mundo el mercado de los sistemas embebidos, es decir sistemas electrónicos, eventualmente compuestos por un único chip, que forman parte de sistemas mecánicos, eléctricos, químicos, etc. de mayor tamaño, como electrodomésticos, automóviles y maquinarias del más diverso tipo.



Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva

"2013 - AÑO DEL BICENTENARIO DE LA ASAMBLEA GENERAL CONSTITUYENTE DE 1813"

Fig. 5. Ventas mundiales de semiconductores. Años 2013 en adelante proyectados.



Fuente: IC Insights.

Las actividades de “front-end” se encuentran fuertemente concentradas en empresas pertenecientes a países de América del Norte, el Este de Asia y Europa, principalmente Estados Unidos, Japón, Taiwán, Corea del Sur, China, Alemania, Francia, Países Bajos e Italia. Las de “back-end”, en cambio, presentan una mayor dispersión y se afincan en un conjunto más amplio de países entre los que se cuentan China, Taiwán, Singapur, Malasia, y Filipinas.

El mercado “fabless” alcanzó en 2011 los US\$ 65 mil millones y se encuentra dominado por empresas de Estados Unidos (cuadro 1). En cambio, la mayoría de las “foundries” que manejan el estado del arte actual se encuentran en Asia. Entre las mayores empresas sólo fundidoras (“pure-play foundries”) se encuentran TSMC y UMC (ambas de Taiwán), Chartered Semiconductor (Singapur) y Tower Semiconductor (Israel) y entre las más nuevas Anam (Corea del Sur) y WSMC (Taiwán). En 2012 TSMC resultó tercera en el ranking mundial de ventas de semiconductores. Para el funcionamiento de este esquema resulta esencial el compromiso de confidencialidad que asume la “foundry” sobre los detalles de diseño de los dispositivos que fabrica.



Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva

"2013 - AÑO DEL BICENTENARIO DE LA ASAMBLEA GENERAL CONSTITUYENTE DE 1813"

Cuadro 1. Principales empresas "fabless" del mercado mundial. Año 2011.

2011 Rank	2010 Rank	2009 Rank	Company	Headquarters	2009 (\$M)	2010 (\$M)	% Change	2011 (\$M)	% Change
1	1	1	Qualcomm	U.S.	6,409	7,204	12%	9,910	38%
2	2	3	Broadcom	U.S.	4,271	6,589	54%	7,160	9%
3	3	2	AMD	U.S.	5,403	6,494	20%	6,568	1%
4	6	5	Nvidia	U.S.	3,151	3,575	13%	3,939	10%
5	4	6	Marvell	U.S.	2,690	3,592	34%	3,445	-4%
6	5	4	MediaTek	Taiwan	3,500	3,590	3%	2,969	-17%
7	7	7	Xilinx	U.S.	1,699	2,311	36%	2,269	-2%
8	8	10	Altera	U.S.	1,196	1,954	63%	2,064	6%
9	9	8	LSI Corp.	U.S.	1,422	1,616	14%	2,042	26%
10	10	11	Avago	Singapore	858	1,187	38%	1,341	13%
11	13	12	MStar	Taiwan	838	1,065	27%	1,220	15%
12	11	13	Novatek	Taiwan	819	1,149	40%	1,198	4%
13	15	16	CSR	Europe	601	801	33%	845	5%
14	12	9	ST-Ericsson*	Europe	1,263	1,146	-9%	825	-28%
15	16	15	Realtek	Taiwan	615	706	15%	742	5%
16	17	17	HiSilicon	China	572	652	14%	710	9%
17	27	67	Spreadtrum	China	105	346	230%	674	95%
18	19	19	PMC-Sierra	U.S.	496	635	28%	654	3%
19	18	14	Himax	Taiwan	693	643	-7%	633	-2%
20	21	—	Lantiq	Europe	0	550	N/A	540	-2%
21	33	30	Dialog	Europe	218	297	36%	527	77%
22	22	21	Silicon Labs	U.S.	441	494	12%	492	0%
23	29	20	MegaChips	Japan	445	337	-24%	456	35%
24	23	24	Semtech	U.S.	254	403	59%	438	9%
25	24	23	SMSC	U.S.	283	397	40%	415	5%
Top 25 Total			—	—	38,242	47,733	25%	52,076	9%
Non-Top 25 Fabless			—	—	11,091	14,781	33%	12,811	-13%
Total Fabless			—	—	49,333	62,514	27%	64,887	4%

*Represents the 50% share not accounted for by ST.

Fuente: IC Insights.

Existen además "foundries" de tamaño reducido que abastecen al mercado de productos menos masivos o diferenciados ("specialties"). La oferta de las "specialty foundries" se concentra en procesos distintos al CMOS⁷ y abarca un amplio espectro en el que se encuentran por ejemplo los integrados analógicos y de señal mixta para clientes del sector

⁷ Se trata de la tecnología utilizada en la gran mayoría de los circuitos integrados producidos en la actualidad.



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

automotriz y de comunicaciones. En algunos productos como amplificadores de potencia para altas tensiones o integrados especializados en radiofrecuencia, las prestaciones son superiores si se obtienen con los métodos menos costosos y más antiguos. Se trata de un sector conformado por empresas de dimensiones relativamente modestas (ventas que rara vez superan los 100 millones de US\$ al año) en el que la competencia está regida más por calidad que por precio (Arensman, 2005).

El costo de desarrollo de circuitos integrados ha crecido exponencialmente en los últimos años, reflejando el incremento en la complejidad y número de los requerimientos a satisfacer por los diseñadores, impuestos por niveles crecientes de integración. Los costos de diseño superan ampliamente los de fabricación de "chips". La justificación de estos altos costos de desarrollo requiere la venta de un número de unidades muy elevado que no siempre es posible alcanzar. A su vez, los cortos ciclos de vida de los productos finales acortan los tiempos disponibles para el desarrollo de nuevos dispositivos y la posibilidad de llegar a los niveles de producción requeridos para repagar las inversiones.

Las cuestiones señaladas están modificando los criterios de diseño actuales respecto de los utilizados hace unos años. En las nuevas circunstancias, se hace cada vez más difícil justificar el desarrollo completo de nuevos integrados a la medida de los clientes (ASICs) y a la vez aprovechar las tecnologías de proceso más avanzadas. De esta forma muchos diseños nuevos no utilizan esas tecnologías por razones de costo. Por las mismas razones, se hace mayor uso del "software embebido", de ASICs estructurados⁸ y de circuitos lógicos programables del tipo FPGA.

El diseño de los circuitos integrados puede concretarse dentro de una empresa integrada o por empresas especializadas en esta etapa de la cadena de valor de los semiconductores. El diseño requiere una inversión en capital fijo pequeña en comparación con las otras etapas (front-end y back-end). Los recursos principales son estaciones de trabajo, software especializado (EDA⁹) y personal calificado. Sin embargo, el desarrollo de un "chip" implica una inversión considerable, ya que deben adelantarse los recursos necesarios para solventar el trabajo de los ingenieros. La parte del mercado de diseño de circuitos integrados atendido por firmas especializadas ha crecido considerablemente en los últimos años. Las principales se concentran en Estados Unidos y Taiwán, China e India. En menor medida se encuentran en Europa e Israel. Las empresas especializadas en diseño pueden cumplir la función de integrar bloques provistos por otras empresas y ajustar el diseño general a las necesidades del cliente.

⁸ Reciben la denominación de ASICs estructurados aquellos ASIC en los que sólo una parte fue desarrollada a la medida de las necesidades del usuario.

⁹ Electronic Design Automation.



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

Otra función posible es la de desarrollar bloques de circuitos especializados por encargo de la empresa "integradora" reteniendo la propiedad intelectual sobre los diseños (firmas IP). El mercado IP, con una dimensión que supera 2.000 millones de US\$ (2012), se encuentra en franca expansión. Por ejemplo ARM, una empresa IP, ha cobrado gran notoriedad en los últimos años gracias a su hegemonía en el mercado de los procesadores para telefonía móvil. El crecimiento de las actividades "fabless" e IP se vinculan fuertemente con la tendencia a integrar varios módulos en un mismo "chip". Conocida en la jerga como "system on a chip" o por su sigla SOC, esta configuración permite reducir costos de producción, reducir el tamaño y dificultar la copia del sistema por parte de la competencia, las fuerzas impulsoras de la integración de los circuitos, desde los tiempos de los transistores discretos.

Debido a la creciente complejidad de la tarea, el diseño de un circuito integrado específico ya no es manejado exclusivamente por una empresa sino que un conjunto de empresas están involucradas y aportan en sus segmentos de especialidad. Se ha generado así una red de diseño transnacional que vincula distintas empresas de diseño, licenciarios de derechos de propiedad de bloques funcionales (IP), proveedores del servicio de diseño, "foundries", proveedores de programas de diseño, departamentos de diseño de grandes empresas fabricantes de sistemas electrónicos con marca propia, etc. Todos ellos contribuyen en alguna medida a la solución final (Trends, 2007).

2.3. Los circuitos impresos

Si bien su participación relativa en las ventas mundiales de componentes electrónicos fue en 2012 del 8,4%, los circuitos impresos son elementos claves en cualquier sistema electrónico. En los circuitos impresos se concentra gran parte de la ingeniería de producto de los sistemas electrónicos. La capacidad de desarrollar una placa de circuito impreso significa, entre otras cosas, especificar el conjunto necesario de componentes electrónicos, desde la más simple resistencia hasta el más complejo circuito integrado. No dominar esta tecnología puede significar la condena a la adquisición de "kits" compuestos por la placa y los componentes cuyos costos y calidad no resultan claramente observables para el montador final. De esta forma, la capacidad para el proyecto y producción de placas de circuito impreso consiste en uno de los principales indicadores del nivel de desarrollo de la industria electrónica (de Souza Melo y otros, 1998).



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

"2013 - AÑO DEL BICENTENARIO DE LA ASAMBLEA GENERAL CONSTITUYENTE DE 1813"

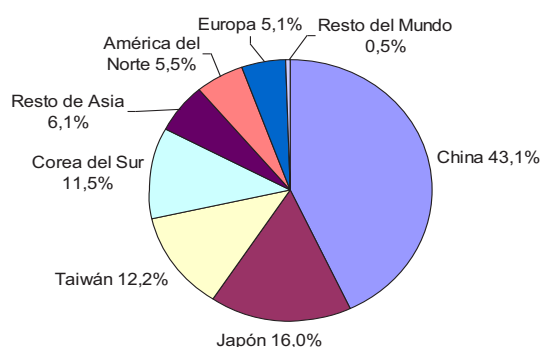
Los circuitos impresos se manufacturan en su mayor parte en Asia. Más del 40% de las ventas de este sector se concretan en China, pero Japón, Taiwán y Corea del Sur son centros importantes de producción (fig. 6).

En los países centrales (Estados Unidos, Japón y Europa) se encuentran las plantas productoras de plaquetas de altas prestaciones (aviónica, satélites, aplicaciones militares, médicas, etc.) y las que típicamente se destinan a grandes servidores (informática) y equipamiento de telecomunicaciones. En economías emergentes con mano de obra altamente calificada (Corea, Taiwán y Singapur) se producen plaquetas de mediana complejidad como las destinadas a computadoras. Las plaquetas simples destinadas a productos de consumo, se producen principalmente en China, Filipinas y Tailandia (Trends, 2007).

3. Caracterización del sector en la Argentina

La Argentina presenta un saldo comercial negativo muy importante en el sector electrónico con una tendencia creciente asociada con el crecimiento económico, debido a la mayor demanda del sector industrial y del consumo de la población (fig. 7).

Fig. 6. Distribución geográfica de la producción mundial de circuitos impresos rígidos y flexibles. Año 2011.



Fuente: Custer Consulting



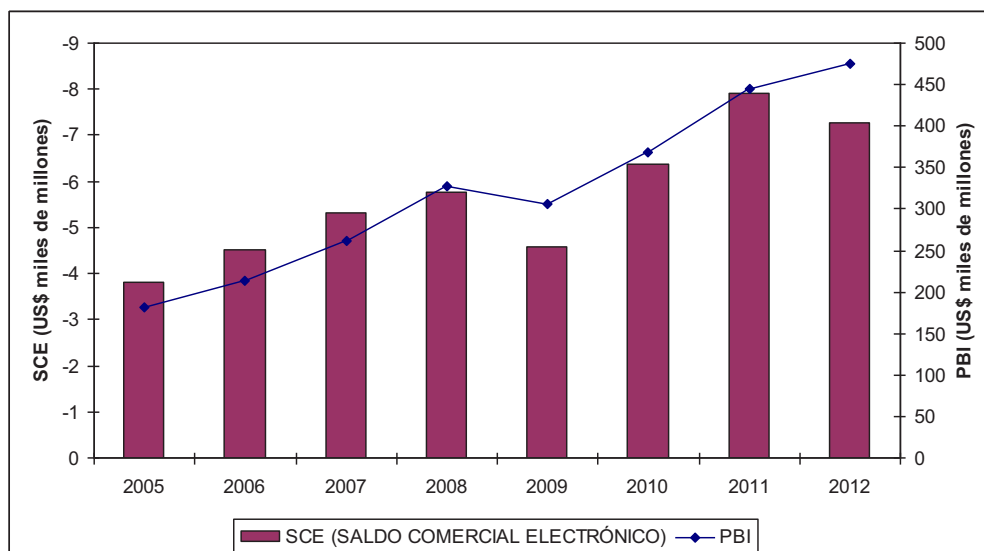
Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva

"2013 - AÑO DEL BICENTENARIO DE LA ASAMBLEA GENERAL CONSTITUYENTE DE 1813"

Si se analizan las importaciones del complejo electrónico nacional se puede observar que la mayor parte (64,8%) corresponde a Comunicaciones y Procesamiento de Datos, a pesar del fuerte crecimiento de la producción nacional en estos segmentos a partir de 2009, generado por los incentivos fiscales introducidos en ese año. La participación de la oferta nacional respecto del consumo aparente calculado en unidades alcanza valores muy cercanos al 100% en varios productos de gran impacto como televisores o celulares. En otros productos, como decodificadores, equipos de audio, reproductores de MP3 y MP4, cámaras fotográficas y computadoras, la participación, si bien es menor, es significativa y mucho mayor a la existente hace 4 años (cuadro 2).

De acuerdo con testimonios de informantes calificados del sector, la producción local de bienes electrónicos de consumo genera todavía un ahorro de divisas relativamente pequeño. Si se analiza la composición de la importación de insumos que realiza el sector se puede verificar una gran concentración en unos pocos ítems (cuadro 3). Nótese que los cuatro primeros concentran más del 70% del valor total CIF importado. Una parte muy significativa corresponde a partes o módulos con los componentes ya montados. Pero lo más relevante es que como la actividad se centra en el ensamblado y/o fabricación de diseños no propios, con el "kit" de piezas se está importando el valor agregado correspondiente al desarrollo del producto.

Fig. 7. Producto bruto interno argentino y déficit comercial electrónico, en dólares corrientes.



Fuente: elaboración propia con datos de INDEC y Ministerio de Economía de la Nación.

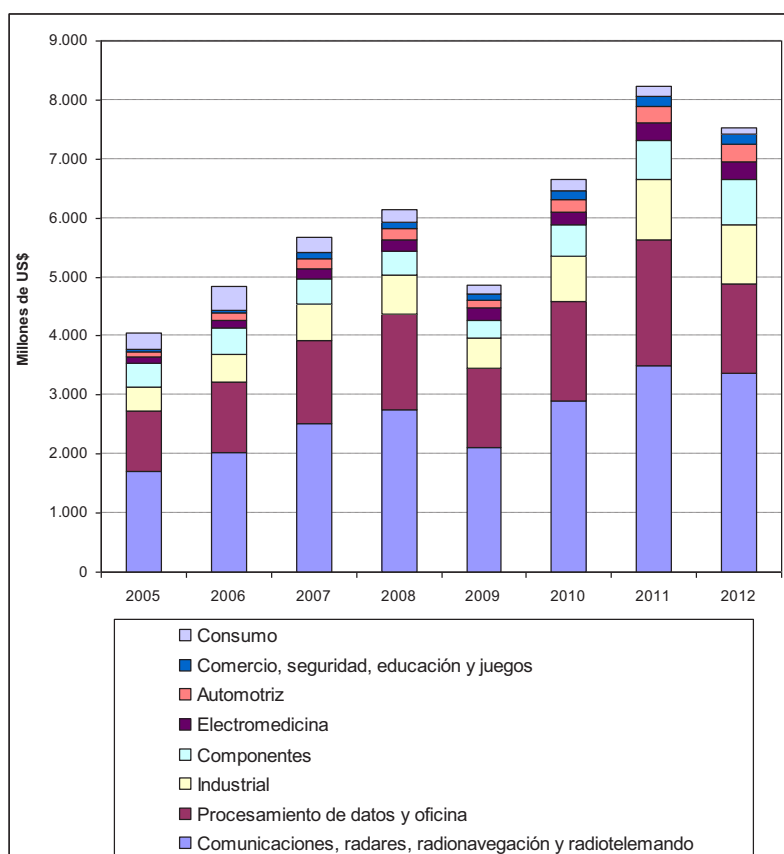


Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva

"2013 - AÑO DEL BICENTENARIO DE LA ASAMBLEA GENERAL CONSTITUYENTE DE 1813"

De esta forma, si bien el sector ha realizado grandes avances en términos de participación en el mercado local de sus productos y una ampliación de los procesos CKD¹⁰ a productos sofisticados como placas madre o placas de memoria de computadoras, no ha avanzado significativamente, hasta el momento, en reducir o compensar con exportaciones e integración local las crecientes importaciones de productos electrónicos de consumo.

Fig. 8. Importaciones argentinas de productos electrónicos por segmento de aplicación. Año 2012, en dólares corrientes.



Fuente: INTI – Economía Industrial con datos de INDEC.

¹⁰ CKD es la sigla de completely knocked down, que se utiliza para referirse al ensamblado a partir de un despiece completo del producto.



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

En Argentina se fabricaba hasta mediados de la década del 70 una variedad considerable de partes y componentes electrónicos que abastecían a la industria local, principalmente de televisores y de audio (Vornehm, Dmitruk et al., 1981). Los cambios en la política arancelaria instrumentados a mediados de esa década y la evolución de la tecnología hacia componentes cada vez más complejos y producidos en escalas cada vez mayores dieron por resultado una oferta local casi ausente.

Sin embargo, algunos componentes y partes se producen en el país gracias a su carácter de ser realizados a la medida de los fabricantes de sistemas electrónicos locales. Tales son los casos de los circuitos impresos, teclados de membrana y gabinetes.

Como ya se mencionó, los circuitos impresos juegan un papel central en la cadena de valor de la industria electrónica y localmente existen varias fábricas que producen diversos tipos de impresos. Abastecen la demanda de los productores que desarrollan sistemas electrónicos en el país destinados principalmente a aplicaciones industriales, médicas, telecomunicaciones, seguridad, comercio, automotriz y otras. La industria radicada en Tierra del Fuego y los ensambladores de computadoras utilizan impresos importados. Se producen localmente impresos de simple y doble faz con materiales base de resina epoxi (FR-4) y de pasta de papel (FR-2), incluso aptos para el montaje superficial (SMT). En años recientes comenzaron a fabricarse en el país circuitos impresos multicapa.

La evolución reciente de la industria electrónica en Argentina ha sido muy positiva, en gran medida impulsada por el crecimiento del sector industrial y el incentivo local para la producción de bienes de consumo y telefonía móvil, "notebooks", televisores, tabletas, etc. En comparación, la producción de equipos de comunicación y componentes presenta un marcado estancamiento, con niveles de actividad similares a los de hace una década (fig. 10). El valor bruto de la producción del complejo electrónico nacional se sitúa en torno de los US\$ 5.000 millones, con un valor agregado que puede estimarse en un 30% de esa cifra. Asimismo se estima que da empleo a unas 16.000 personas. Por su parte, el sector componentes representa una pequeña fracción del complejo. El empleo total es de unas 500 personas, con un valor bruto de la producción de unos US\$ 200 millones y un valor agregado que ronda el 40%.

A partir del volumen de importaciones de material base para circuitos impresos y de circuitos impresos terminados puede estimarse que aproximadamente una tercera parte



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

del mercado local (excluida la industria de Tierra del Fuego) se abastece con impresos provenientes del exterior. Estas importaciones son realizadas por empresas que arman en el país productos desarrollados en el exterior y empresas locales que desarrollan sistemas electrónicos y que contratan la fabricación de los impresos principalmente en Brasil y China.

Los circuitos electrónicos actuales alcanzan su mayor nivel de densidad de conexiones y elementos (en la jerga mayor escala de integración) en los denominados circuitos integrados o "chips". La falta de continuidad en los esfuerzos que se realizaban en el país hasta fines de la década del 70 para controlar tecnologías de fabricación de dispositivos semiconductores, tanto en el sector público (INTI, CITEFA) como en el privado (FATE ELECTRÓNICA), ha desembocado en la actual ausencia de capacidad productiva en esta materia (De Alto, 2013).



Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva

"2013 - AÑO DEL BICENTENARIO DE LA ASAMBLEA GENERAL CONSTITUYENTE DE 1813"

Cuadro 2. Producción nacional de algunos bienes de electrónica de consumo y su participación en el consumo aparente.

	2009			2010			2011			2012*		
	Consumo aparente	Producción Nacional		Consumo aparente	Producción Nacional		Consumo aparente	Producción Nacional		Consumo aparente	Producción Nacional	
	Miles de Unidades	Miles de Unidades	Participación	Miles de Unidades	Miles de Unidades	Participación	Miles de Unidades	Miles de Unidades	Participación	Miles de Unidades	Miles de Unidades	Participación
Teléfonos celulares	9.979	399	4,0%	12.604	4.923	39,1%	14.153	11.488	81,2%	13.290	13.064	98,3%
Televisores (TRC + Plasma + LCD)	1.295	1.227	94,7%	2.820	2.609	92,5%	3.001	2.718	90,6%	2.791	2.769	99,2%
Decodificadores para TV**	895	0	0,0%	1.837	3	0,2%	2.579	114	4,4%	2.338	1.060	45,3%
Homos microondas	319	243	76,2%	654	547	83,6%	729	689	94,5%	549	533	97,1%
Reproductores de DVD	1.286	163	12,7%	1.495	334	22,3%	766	251	32,8%	793	749	94,5%
Reproductores/grabadores de audio excepto los de bolsillo	1.272	10	0,8%	1.352	9	0,7%	1.561	93	5,9%	1.237	263	21,3%
Reproductores de bolsillo de formatos MP 3 y MP 4**	172	0	0,0%	416	23	5,7%	364	49	13,5%	241	80	33,4%
Cámaras fotográficas	973	0	0,0%	1.160	108	9,3%	858	280	32,7%	361	198	54,9%
Videocámaras	78	17	22,1%	109	14	12,6%	117	56	48,3%	89	86	96,6%
Monitores LCD para PC**	1.420	0	0,0%	1.101	440	40,0%	882	768	87,1%	656	647	98,6%
PC de Escritorio (incluidas "all in one")	1.496	1.360	90,9%	1.244	1.000	80,4%	2.447	1.753	71,6%	896	701	78,2%
PC portátiles	964	199	20,7%	1.614	290	18,0%	2.428	1.612	66,4%	1.600	1.081	67,5%

*Cifras estimadas

**Sólo producción de Tierra del Fuego

Fuente: INTI – Economía Industrial con datos de Dirección de Estadística de Tierra del Fuego, INDEC, CAMOCA y Dirección Nacional de Aduanas.



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

"2013 - AÑO DEL BICENTENARIO DE LA ASAMBLEA GENERAL CONSTITUYENTE DE 1813"

Cuadro 3. Importaciones de insumos de las principales empresas fabricantes de productos electrónicos de consumo en Argentina, año 2011 (sólo se consideraron aquellas empresas que cuentan con facilidades para montaje CKD, tanto en el continente como en Tierra del Fuego).

Insumo	millones de US\$ CIF	participación sobre el total
Placas para teléfonos celulares	732,2	24,3%
Partes de receptores de radio y televisión	583,0	19,3%
Componentes y partes electrónicas	422,0	14,0%
Otras partes de teléfonos celulares	397,0	13,2%
Pantallas LCD para computadoras portátiles	100,9	3,3%
Placas madre para computadoras	99,9	3,3%
Unidades de almacenamiento magnético	95,8	3,2%
Acumuladores	82,0	2,7%
Otras pantallas de LCD	75,3	2,5%
Otras unidades y partes para computadoras	68,1	2,3%
Dispositivos de almacenamiento basados en memoria de estado sólido no volátil	57,4	1,9%
Cargadores de acumuladores	40,7	1,4%
Partes y materiales varios	36,1	1,2%
Empaque y material impreso	35,6	1,2%
Carcasas de teléfonos celulares	28,8	1,0%
Circuitos impresos	27,8	0,9%
Placas de memoria para computadoras	25,9	0,9%
Unidades de lectura/grabación ópticos	20,6	0,7%
Tornillos, tuercas, arandelas y resortes	16,9	0,6%
Partes de hornos microondas	14,4	0,5%
Unidades de entrada (teclados, mouses, etc.)	14,0	0,5%
Mandos a distancia	10,8	0,4%
Otras partes	30,9	1,0%
TOTAL	3016,3	100,0%

Fuente: INTI – Economía Industrial con datos de Dirección General de Aduanas.

El diseño de integrados es una actividad que ya se desarrolla en la Argentina. Además de profesionales independientes, existen grupos de investigación especializados en diseño microelectrónico en algunas universidades argentinas entre las que se destacan la Universidad Nacional del Sur y la Universidad Católica de Córdoba. En estos centros se

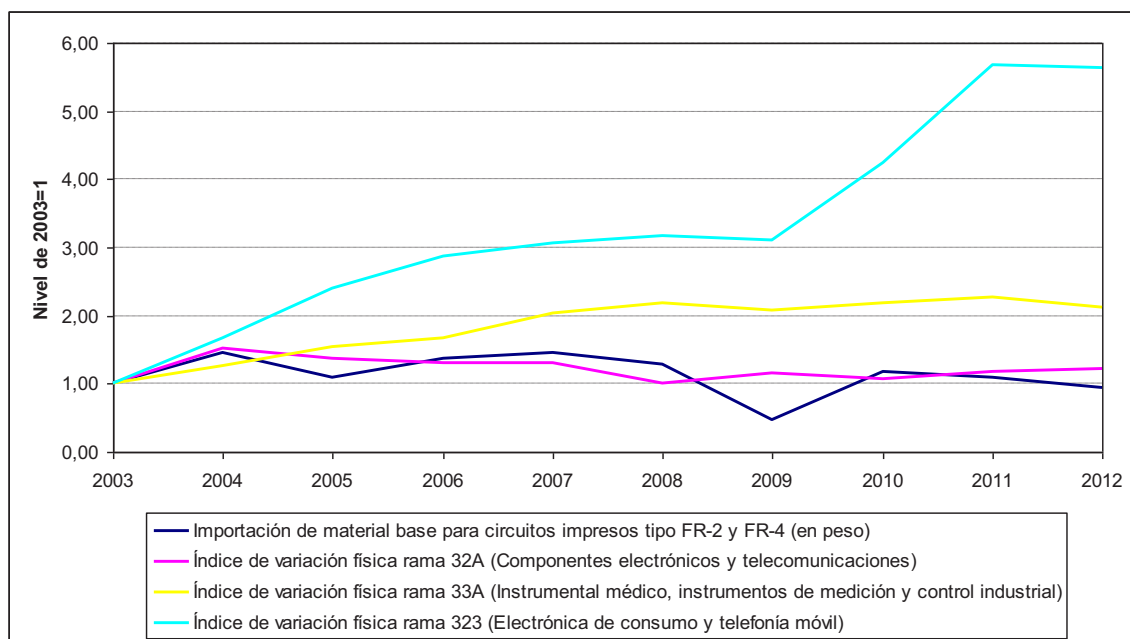


Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva

"2013 - AÑO DEL BICENTENARIO DE LA ASAMBLEA GENERAL CONSTITUYENTE DE 1813"

han desarrollado integrados de aplicación específica (ASIC) que se utilizan en distintas aplicaciones.

Fig. 9. Evolución de la producción en términos físicos de las ramas que integran la industria electrónica argentina y de la importación de material base para la fabricación de circuitos impresos.



Fuente: elaboración propia con datos de INDEC.

También existen grupos que realizan diseños de dispositivos microelectrónicos en instituciones del sistema público de investigación y desarrollo como los del INTI y la Comisión Nacional de Energía Atómica. En el sector privado hay dos filiales de empresas de origen extranjero que realizan diseños de circuitos integrados: Allegro Microsystems Inc., radicada en la Ciudad de Buenos Aires y ClariPhy Communications Inc., instalada en Córdoba. Además, se diseñan y fabrican en el país circuitos híbridos de película gruesa con múltiples aplicaciones en electrónica automotriz, telecomunicaciones, industrial, medicina, etc. Por su parte, el INTI cuenta con una sala limpia con capacidad de poner a



punto distintos procesos de fabricación de microdispositivos del tipo MEMS y NEMS¹¹ a partir de la oblea de silicio. Este laboratorio podría realizar producciones en pequeña escala con fines de desarrollo de nuevos productos, prototipado y abastecimiento a proyectos especiales.

Recientemente se ha sumado la empresa Unitec Blue en el segmento "back-end" aplicado a la producción de tarjetas de contacto y tarjetas de proximidad, por el momento empleando integrados de origen extranjero. Sin embargo, la empresa tiene planes de diseñar sus propios integrados y posteriormente pasar a su producción local.

4. Oportunidades, desafíos futuros y ámbitos de intervención

La industria electrónica mundial conserva el impulso que la convirtió hace más de 40 años en uno de los pilares de la evolución técnica y el crecimiento económico. Si bien muchas actividades relacionadas con esta rama continúan estando concentradas en empresas transnacionales de países centrales, desde la década del 90 se registran una serie de cambios que han llevado a la desintegración vertical y relocalización de la industria. Así, han surgido nuevos actores que han alcanzado en la actualidad un peso relativo considerable. Tal es el caso de las empresas que operan bajo los modelos de negocios "pure play foundry", "fabless" e "IP".

Se espera que en los años venideros, la electrónica aumente aun más su presencia en la vida cotidiana con la plena vigencia de la denominada "internet de las cosas", es decir la conexión a internet de un gran número de bienes, la mayoría no electrónicos, para intercambiar datos entre ellos y con computadoras alejadas.

Por su parte, la industria electrónica nacional presenta una evolución positiva en los últimos años, pero la desconexión existente entre los fabricantes de productos finales y la tecnología del diseño y fabricación de componentes plantea un futuro incierto frente a las

¹¹ La siglas MEMS y NEMS corresponden a Micro-electromechanical Systems y Nano-electromechanical Systems, respectivamente. Se trata de sistemas capaces de medir magnitudes físicas e incluso algunos capaces de realizar acciones a escala micrométrica. Generalmente especializados en una función específica son utilizados en una gran diversidad de aplicaciones, desde la medicina hasta los cabezales de impresoras.



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

tendencias observables a escala mundial. La relación entre la concepción del sistema y la de los componentes será cada vez más estrecha.

La nueva estructura productiva a escala global presenta desafíos pero también oportunidades de inserción en la cadena productiva a costos relativamente bajos. En ese sentido, las áreas más accesibles son las de diseño de integrados, "back-end" y fabricación de micro y nano dispositivos destinados a aplicaciones especiales.

El desarrollo existente en el país en diversas aplicaciones de la electrónica como son la salud, el control industrial, los instrumentos de medición, equipos de comunicaciones, entre otros, conforman una base de partida para la consolidación de un tejido sectorial más denso, apoyado en un sector de componentes vigoroso y técnicamente actualizado. Para lograr ese objetivo deben desarrollarse actividades hoy ausentes o con presencia incipiente como la electrónica flexible o impresa, el diseño de bloques IP, el diseño de integrados y SOCs bajo el esquema "fabless" y la fabricación de micro y nano circuitos. La consolidación de un entramado productivo de ese tipo permitiría a la industria nacional incursionar en aplicaciones de muy grandes volúmenes como son la iluminación LED, RFID, celdas fotovoltaicas y "displays".

Si bien existe una base de conocimiento en universidades e institutos de investigación, en el área de diseño de integrados, MEMS y NEMS e incluso facilidades para su análisis, producción a escala piloto y manejo "físico", esta debe ser ampliada sustancialmente para acompañar el desarrollo esperado del sector.

4.1. Posibles ámbitos de intervención

I. Cierre de brechas tecnológicas

i. Formar recursos humanos en el área de diseño de circuitos integrados.

La industria micro y nanoelectrónica de la actualidad requiere, además de la formación de base en ingeniería electrónica, el manejo de herramientas de



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

diseño (EDA), específicas de los procesos de fabricación previstos. De igual modo, estas herramientas permiten la simulación del funcionamiento de los sistemas electrónicos, previamente a su fabricación, con el fin de minimizar costos en las etapas ulteriores de desarrollo. Asimismo, los acotados tiempos de desarrollo, típicos de esta industria, requieren frecuentemente la utilización de bloques funcionales ya diseñados (bloques IP) que deben ser integrados al conjunto principal (sistema completo) tarea que requiere un entrenamiento especial de los ingenieros. Esta formación es fundamentalmente de tipo práctico y sólo posible si se cuenta con las licencias del software requerido, que tienen costos del orden de cientos de miles a millones de dólares.

ii. Promover el desarrollo de productos finales con diseño e ingeniería local, principalmente de circuitos integrados y circuitos impresos.

Los altos costos de desarrollo de los micro y nano sistemas requieren altos volúmenes de producción para lograr costos unitarios competitivos. Si bien la Argentina cuenta con producción industrial en segmentos de alto volumen (teléfonos celulares, televisores LCD, notebooks, tabletas, etc.) se presenta el problema de lograr mayor integración nacional (mayor valor agregado local) en los procesos de fabricación. La solución de este problema solo se puede alcanzar consiguiendo la propiedad del diseño de los productos electrónicos, es decir, con ingeniería nacional. De esa forma, se agrega el valor de la ingeniería de producto que hoy día se paga como parte del precio de los kits para ensamblar. Parte importante de ese valor agregado corresponde al diseño y fabricación de determinados componentes no estándar que corporizan el "know how" propio de la concepción del producto final. Otra parte significativa del valor agregado se encuentra en el software embebido específico.

iii. Promover la inversión en plantas de producción de circuitos impresos multicapa y flexibles, capaces de abastecer lotes numerosos destinados a aplicaciones de gran volumen (consumo, comunicaciones, informática, etc.)

Si bien existe una tendencia a que los circuitos integrados cumplan mayor cantidad de funciones, los circuitos impresos siguen condensando una gran parte de la ingeniería contenida en los productos electrónicos. Por esa razón, es



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

necesario que la industria local mantenga el ritmo de avance técnico en esta materia, de manera de ser capaz, en calidad y en escala, para abastecer las demandas más exigentes planteadas por los productos de alcance masivo (celulares, notebooks, tabletas, etc.)

iv. Promover el desarrollo de micro y nano dispositivos capaces de funcionar como sensores o actuadores en sistemas de diversa índole.

Cada vez más la electrónica se introduce en los ámbitos más diversos de la vida humana. En ese sentido, se presentan oportunidades para una muy amplia variedad de dispositivos de tamaño micro o nanométrico capaces de sensor datos y/o actuar en función de una señal medida o recibida. Estos micro o nano dispositivos se aplican y se aplicarán con mucha más frecuencia en el futuro cercano en áreas tan distintas como el transporte, la salud, la seguridad, la ecología, energía, comunicaciones e informática, entre otras. De esta forma contar con las capacidades de desarrollo y/o fabricación de estos dispositivos permitiría la integración de la industria de componentes electrónicos con otras áreas productivas prioritarias, contribuyendo a la densificación del tejido productivo.

II. Desarrollo de productos

i. Facilitar el acceso por parte de las firmas a servicios de diseño, prototipado, fabricación, "bondeado", encapsulado y testeado de circuitos integrados.

La industria electrónica nacional se encuentra en la actualidad muy alejada de la microelectrónica, ya que concibe sus productos a partir de los circuitos integrados disponibles en el mercado. Pero con mayor frecuencia se verán enfrentadas a la necesidad de integrar sus diseños en micro o nano circuitos fabricados a su medida. Para ello, es necesario que exista en el país oferta de servicios ligados a la industria microelectrónica que permita atender las necesidades de desarrollo de circuitos integrados o MEMs para las empresas sin capacidad en esta materia.



*Ministerio de Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva*

III. Calidad, certificación y normas

- i. Promover el establecimiento de la infraestructura técnica necesaria para permitir la homologación y certificación de normas nacionales e internacionales aplicables a circuitos integrados y circuitos impresos.***

Los avances en la creación de capacidades locales en el desarrollo y fabricación de componentes electrónicos deben complementarse con las inversiones necesarias para asistir a la industria en el cumplimiento de las normas técnicas aplicables en cada caso.

IV. Consolidación del tejido productivo

- i. Promover la formación de empresas dedicadas al diseño y fabricación de circuitos integrados bajo los modelos de negocios "foundry", "fabless" e IP.***

El sector componentes electrónicos en Argentina debe integrarse a la cadena productiva local e internacional mediante el desarrollo de una estructura especializada acorde con las prácticas más avanzadas, que permiten reducir costos y tiempos de desarrollo. Para ello es necesario favorecer la creación y consolidación de iniciativas productivas surgidas del sistema educativo y científico-técnico ("spin off") dedicadas al diseño de circuitos integrados. De igual modo resulta necesario complementar esas acciones con la promoción de las más costosas actividades de fabricación de componentes. En todos los casos los instrumentos fiscales y la demanda del Estado juegan un papel central para su concreción.



5. Referencias-Bibliografía Consultada

Arensman Russ. Specialty Strategies. Electronic Business, 8/1/2005. Reed Elsevier Inc.

Cisco Systems Inc., 2013. <http://share.cisco.com/internet-of-things.html>.

De Alto, Bruno Pedro. Autonomía Tecnológica. La audacia de la División Electrónica de Fate. Ediciones Cicus. Buenos Aires, mayo de 2013.

De Souza Melo Paulo Roberto, Vinhais Gutierrez Regina Maria, Silveira da Rosa Sérgio Eduardo. Complexo Eletrônico: O Segmento de Placas de Circuito Impresso. Gerência Setorial do Complexo Eletrônico do BNDES. Rio de Janeiro, 1998.

Krueger Sven, Grace Rocer. New Challenges for Microsystems Technology in Automotive Applications. MST News 1/01. 2001.

Millard, Jeremy; Peter Bjørn Larsen, Kristian Pedersen, Benita Kidmose Rytz, Jan Maarten de Vet, Marc Vodovar, Paul Wymenga, Graham Hay & Jon Stenning. Study on internationalisation and fragmentation of value chains and security of supply. Case Study on Semiconductors. European Commission, DG Enterprise and Industry. February 2012.

Queipo, Gabriel Carlos. Industria electrónica en Argentina, situación actual y perspectivas. Industrializar Argentina. Buenos Aires, mayo 2010.

Sturgeon Timothy J. Exploring the Risks of Value Chain Modularity: Electronics Outsourcing During the Industry Cycle of 1992-2002. Industrial Performance Center Massachusetts Institute of Technology, august 2002.

Trends Consulting. Estudio sobre la Industria Electrónica Argentina. Informe Final. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Buenos Aires, agosto 2007.

Vornehm, Hermann, Dmitruk, Andrés et al. Estudio sobre el desarrollo de la industria electrónica argentina. Ministerio de Investigación y Tecnología de la República Federal de Alemania (BMFT) e Instituto Nacional de Tecnología Industrial de Argentina (INTI). München, marzo 1981.