

Industria electrónica en la Argentina: situación actual y perspectivas

EN ESTA NOTA 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.



GABRIEL QUEIPO

Analista Económico del INTI.
Ing. Aeronáutico UTN.
Magister en Ciencia y Tecnología de los Materiales UNSAM.
Magister en Economía de Gobierno ITDT.

INTRODUCCIÓN

Los alcances de la electrónica como industria sólo pueden 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. A éstos deben agregarse los sistemas electrónicos que como bienes intermedios se incorporan a bienes finales más complejos. Tal es el caso, por ejemplo, de los sistemas electrónicos utilizados en distintas funciones en los automóviles.

La electrónica es sin duda una de las industrias tecnológicamente más dinámicas del presente y muy probablemente lo siga siendo en el futuro próximo. Detrás de sus logros asombrosos, se encuentran sistemas 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 avisar oportunidades para la industria nacional.

EL CONTEXTO MUNDIAL

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". 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 exhiben hoy un elevado contenido de electrónica.

El alto valor de los bienes electrónicos determinado por las características señaladas y su utilización en un número creciente de aplicaciones ha resultado en un incremento importante de su peso en la economía mundial en los últimos años. Entre 1978 y 2005, mientras el PBI industrial se multiplicó por un número algo menor que 4, las ventas de equipos electrónicos se multiplicó por más de 6.

Si bien la oferta de sistemas y componentes electrónicos se encuentra en varios segmentos bastante concentrada en pocas empresas, la dinámica tecnológica que caracteriza a esta industria, impide que se comporte como un oligopolio típico. La competencia es muy intensa y se basa tanto en el precio como en la diferenciación del producto (Ernst, 2003). Por lo tanto, resulta esencial para las empresas minimizar el tiempo de desarrollo del producto hasta que se encuentra disponible para su venta ("time to market"). Esta situación ha llevado a la desintegración o especialización vertical, ya que resulta muy difícil para una empresa integrada, reunir las diferentes capacidades necesarias para satisfacer las demandas impuestas por la fuerte competencia.

En la *Figura 1* se presenta un esquema simplificado correspondiente a la cadena de valor de la industria electrónica mundial. Nótese 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

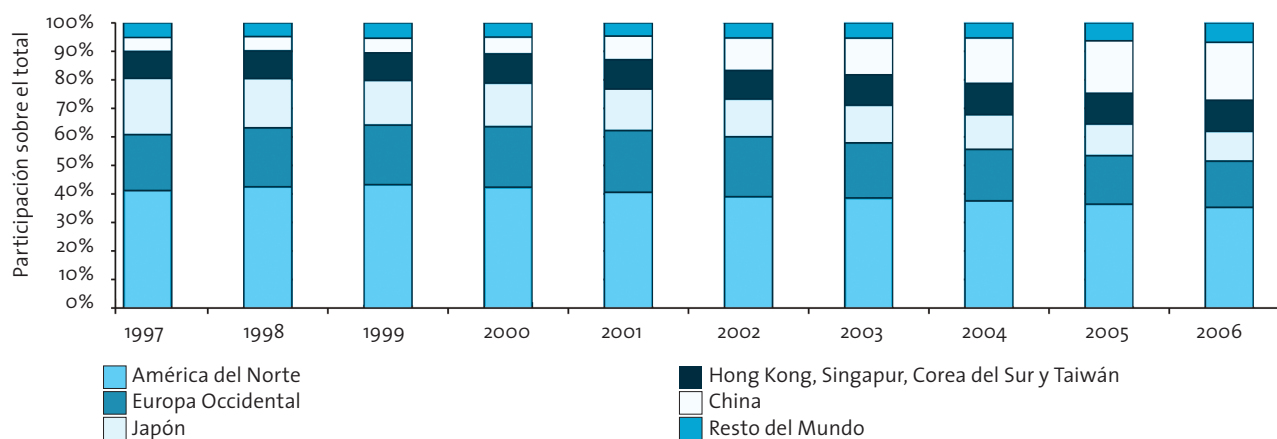
los eslabones con márgenes operativos mayores (materiales y componentes activos). Con menor incidencia en relación con las ventas, la I&D del eslabón de sistemas electrónicos, por su tamaño, representa más de la mitad del gasto total con esa finalidad en toda la industria. Esta actividad se caracteriza 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.

Entre los grupos de productos de la industria electrónica, el mayor peso en valor de la producción corresponde al sector Procesamiento de Datos y Equipos de Oficina, (Figura 2). Con una tasa de crecimiento anual superior al

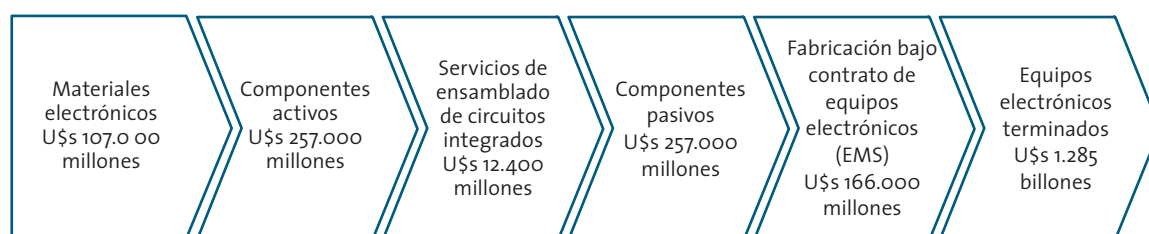
promedio de los sistemas electrónicos, su participación tiende a incrementarse todavía más. Otro tanto sucede con el sector Comunicaciones, con una mayor aceleración de su tasa de crecimiento a partir de la segunda mitad de la década del 90, principalmente debido a la generalización de la telefonía móvil. Los sectores de electrónica automotriz y aplicaciones médicas e industriales también presentan tasas de crecimiento superiores al promedio pero su peso en el total es reducido aún.

FIGURA Nº 1. CADENA MUNDIAL DE LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA. AÑO 2007.



Fuente: elaboración propia con datos de Electronic Outlook Corp.

FIGURA Nº 2. CADENA MUNDIAL DE LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA. AÑO 2007.



COMPAÑÍAS TÍPICAS	Sumitomo, Bakelite, DuPont, Heenkell	Intell, STMicro, LSI Logic	Amkor, ASE, SPIL	Tyco, Molex, AVX, Sharp	Sanmina-SCI, Flextronics, Jabil, Hon Hai	Dell, HP, Cisco, Nokia, Teradyne, Visteon, Siemens
MARGEN BRUTO	40%	40%	17%	25%	6%	30%
MARGEN OPERATIVO	10%	15%	8%	8%	2%	8%
GASTO EN I&D SOBRE VENTAS	7%	10%	2%	3%	< 1%	3%
PARTICIPACIÓN EN EL GASTO TOTAL DE I&D DE LA CADENA	7%	34%	< 1%	8%	< 1%	51%

Fuente: Prismark Partners

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 el logro de las mejoras funcionales que se planea incorporar a los vehículos en el futuro cercano (Schöner, 2003). 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 más trabajo intensivas (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 componentes críticos, comercialización) y capturaban los

retornos de las inversiones realizadas en el extranjero. Un ejemplo claro de este esquema es el surgimiento de la industria ensambladora de productos electrónicos en México, conocida como "maquila".

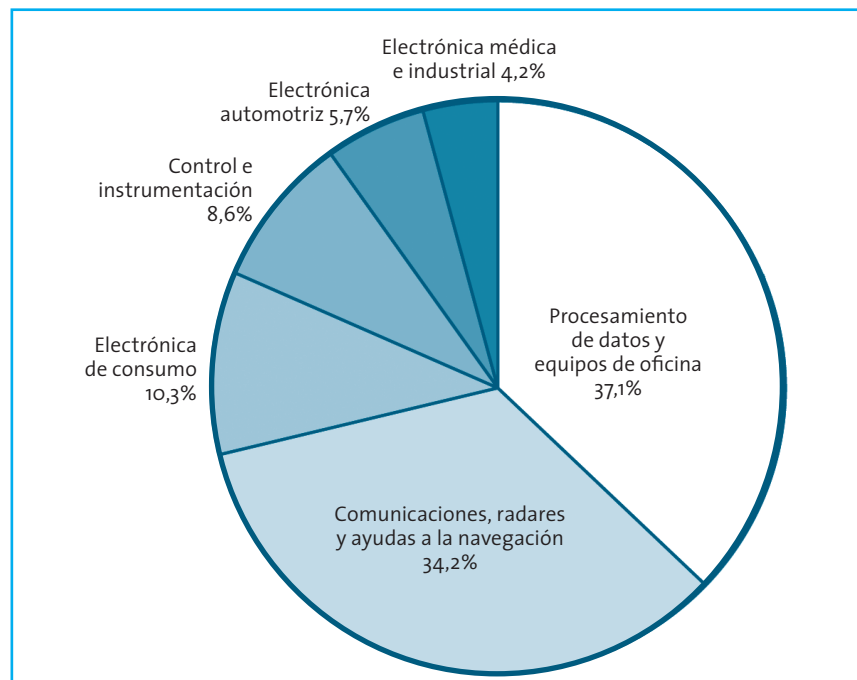
Sin perjuicio de la receptividad a inversiones externas, algunos países adoptaron políticas orientadas al dominio de ciertas tecnologías por parte de empresas industriales de capital nacional. De esta forma, Corea del Sur se focalizó en la producción masiva de una estrecha franja de productos de consumo y componentes de propósito general (como memorias para computadoras y "displays") con marca propia. Taiwán, en cambio, se concentró en la provisión de las marcas 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 las transformaciones señaladas, a comienzos de los años 90, la industria electrónica mundial presentaba una dispersión geográfica considerable con nuevos países pro-

ductores como China, Singapur, Taiwán, Hong Kong (hoy parte de China), Tailandia, Malasia, Filipinas, Irlanda, México, etc. A pesar del crecimiento registrado por las producciones de estos países durante esa década, América del norte (principalmente Estados Unidos), Japón y Europa concentran todavía más del 60% del ensamblado final de sistemas electrónicos (Figura 3). 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. En la actualidad, China es el tercer mayor mercado de productos electrónicos del mundo detrás de Estados Unidos y Japón.

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" (OEM) que venden sistemas electrónicos bajo su marca propia. De esta forma, las empresas OEM líderes

FIGURA Nº 3. PARTICIPACIÓN DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE PRODUCTOS EN LAS VENTAS MUNDIALES DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS EN EL AÑO 2005.



Fuente: elaboración propia con datos de Reed Electronics Research.

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 semiconductores claves (ASICs) 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 como *Solectron* y *Flextronics*. Así una empresa líder puede recurrir a una “system design house” para el diseño especializado y a un contratista para que realice las compras de componentes estandarizados y realice el ensamblado de los sistemas.

Un elemento clave en cualquier sistema electrónico es el circuito impreso. 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). 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.

La industria de semiconductores

Los semiconductores son una familia de dispositivos (transistores, diodos, circuitos integrados, etc.), que se encuentran presentes en todo aparato electrónico, construidos a partir de materiales semiconductores (principalmente silicio). Los semiconductores son componentes que pueden presentarse como elementos individuales (discretos) o bajo la forma de circuitos (circuitos integrados o “chips”). Mientras los elementos discretos requieren de su conexión a otros dispositivos para constituir un sistema, los circuitos integrados pueden o no formar parte de un sistema de mayor tamaño ya que en algunas aplicaciones el circuito integrado conforma la totalidad del sistema electrónico.

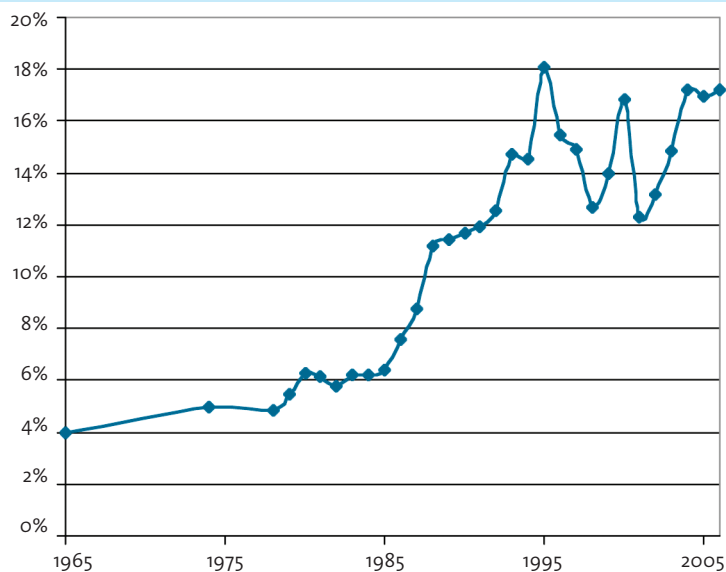
Desde el punto de vista funcional, puede decirse que los semiconductores son el “corazón” de cualquier equipo electrónico, aunque su peso en términos de valor es menor a lo que podría suponerse. Es que la notable evolución que registraron las tecnologías de proceso y el crecimiento de las escalas de producción, permitieron la reducción de los precios unitarios de los circuitos integrados, que a la vez aumentaron su complejidad. Este desarrollo técnico-económico de los semiconductores fue impulsado principalmente por los segmentos de

procesamiento de datos y comunicaciones. No obstante, la participación de los semiconductores en el valor de los equipos electrónicos presenta una tendencia creciente (Figura 4).

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. Por ejemplo, gran parte de la capacidad instalada en China presenta características tecnológicas menos avanzadas que el promedio mundial con niveles de inversión sensiblemente menores (del orden de decenas de millones de uS\$ en algunos casos).

La especialización vertical transformó también la industria de los componentes. El primer paso de la desintegración, en este caso, fue la separación del

FIGURA Nº 4. EVOLUCIÓN DEL VALOR DE LOS SEMICONDUCTORES CONTENIDOS EN LOS SISTEMAS ELECTRÓNICOS (CALCULADO COMO LA RELACIÓN ENTRE VENTAS MUNDIALES DE SEMICONDUCTORES Y VENTAS MUNDIALES DE SISTEMAS ELECTRÓNICOS).



Fuente: elaboración propia con datos de IC Insights, ICE, Custer Consulting y SIA.

diseño y la fabricación: el surgimiento de proveedores del servicio de fabricación de circuitos integrados (“foundries”) hizo posible, a su vez, la aparición de empresas sin fábrica propia denominadas “fabless” que se focalizan en nichos de mercado específicos. Las “fabless” son un fenómeno típico de Estados Unidos: más de 300 de las 500 firmas existentes en el mundo estaban en América del norte en 1998. 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). Las ventas de TSMC en 2006 la colocan en el ranking de los primeros 10 fabricantes mundiales 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.

Si bien países como Corea del Sur, Taiwán, Singapur y China tienen una sólida industria de componentes de capital nacional, incluso con inversiones en el extranjero, las marcas de las corporaciones de Estados Unidos, Japón y Europa representan cerca del 80% de la oferta mundial. La dispersión geográfica desde los centros de excelencia a nuevas locaciones tuvo a Asia como destino principal. Las primeras etapas en desplazarse a Asia fueron el encapsulado de chips y su posterior prueba, seguido de varios aspectos de la implementación del diseño (especialmente de ASIC²) y fabricación (memorias y servicios de fundición o “foundry services”). Este proceso se aceleró durante los últimos años, especialmente en la fabricación de semiconductores, pero también en las industrias proveedoras (materiales, equipo de producción y desarrollo de tecnología de proceso).

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 CMOS³ y abarca un amplio espectro en el que se encuentran, por ejemplo, los integrados analógicos y de señal mixta para clientes del sector 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 menos costosos métodos 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 estructurados⁴ y de circuitos lógicos programables del tipo FPGA.

Como ya se mencionó, 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 (“design houses”). El diseño requiere una inversión en capital fijo pequeña en comparación con las otras etapas (fabricación y encapsulado/prueba). Los recursos principales son estaciones de trabajo, software especializado (EDA⁵) 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 (Hung y Yang, 2003). Las principales se concentran en Estados Unidos y Taiwán, China e India. En menor medida se en-

cuentran 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. Otra función posible es la de desarrollar los bloques especializados por encargo de la empresa “integradora” reteniendo la propiedad intelectual sobre los diseños (firmas IP⁶). El mercado IP, con una dimensión cercana a los 1.500 millones de uS\$ (2004), se encuentra en franca expansión y, en la actualidad, la participación de las firmas especializadas supera a la de las OEMs. La principal fuerza impulsora del crecimiento de las “design houses” es la brecha de productividad en el diseño de circuitos impresos. Mientras la productividad en la fabricación de circuitos integrados creció a un increíble promedio de 58% anual, la productividad en el diseño lo hizo apenas al 21%. 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 “expertise”. 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.

LA INDUSTRIA ELECTRÓNICA EN LA ARGENTINA

El análisis de este sector industrial en la Argentina no resulta sencillo debido a algunas limitaciones de la información estadística disponible. En muchas ocasiones los equipos electrónicos se incorporan a productos que son clasificados por el sistema estadístico dentro de otras ramas de actividad, como por ejemplo, la metalmecánica, la autopartista o la de fabricación de equipos para distribución de energía eléctrica. De esta forma, una gran parte de la producción de bienes electrónicos no se hace “visible” y debe recurrirse a indicadores indirectos para su cuantificación. Además, la clasificación de rama económica utilizada en el censo económico y encuestas industriales (sistema CLANAE) implica un grado de agregación mínima de los datos mayor al deseable. Por ejemplo, la rama 33.110 incluye la fabri-

cación no sólo de equipos de electromedicina (segmento de gran importancia para la industria local) sino también de aparatos ortopédicos, instrumental quirúrgico, prótesis y demás equipamiento no electrónico de uso en medicina.

Por otra parte, los índices de actualización de los datos de 1993 (año base del censo económico) obtenidos a partir de encuestas de periodicidad anual y mensual se publican con una agregación todavía mayor, debido a problemas de representatividad de las muestras. Así las ramas 32100, 32200 se consolidan en la denominada 32A y las 33110, 33120, 33130, 32200 y 33300 están incluidas en la 33A. Esta situación complica la interpretación de los datos, tarea ya de por sí difícil debido a lo profundo de los cambios estructurales registrados en el conjunto de la economía y en especial en el sector, en el período que va desde 1993 (año base de estas estadísticas) hasta el presente.

Por estas razones, es conveniente utilizar indicadores indirectos, como la importación de material base para circuitos impresos. Como este material no se produce en el país, puede tenerse una idea de la actividad de la industria electrónica desarrolladora de equipos (Ramas

32A y 33A) a partir de estas importaciones medidas en peso. Contrariamente a lo marcado por los índices de variación física publicados por el INDEC, las importaciones de material base muestran que la producción de circuitos impresos (en términos físicos⁷) desde 2004, supera los niveles máximos de la década del 90 (Figura 5). Una posible explicación para esta situación, es una mayor sustitución de circuitos impresos importados por nacionales, alentada por la paridad cambiaria⁸. Si bien esta sustitución seguramente ha tenido lugar en cierta medida, no parece ser la causa principal del efecto descrito, ya que la importación de circuitos impresos sigue la tendencia del nivel de actividad de las ramas 32A y 33A⁹. Por lo tanto, puede concluirse que se registró en los últimos años, un incremento de la actividad de la industria electrónica desarrolladora de equipos, acompañada de un cambio de la estructura al interior del sector, que impidió su captación por parte de los índices de variación física publicados por el INDEC. De igual forma, las importaciones de material base, muestran una caída en 2008 respecto de 2007, que puede asociarse con la crisis iniciada en la segunda mitad de 2008, situación

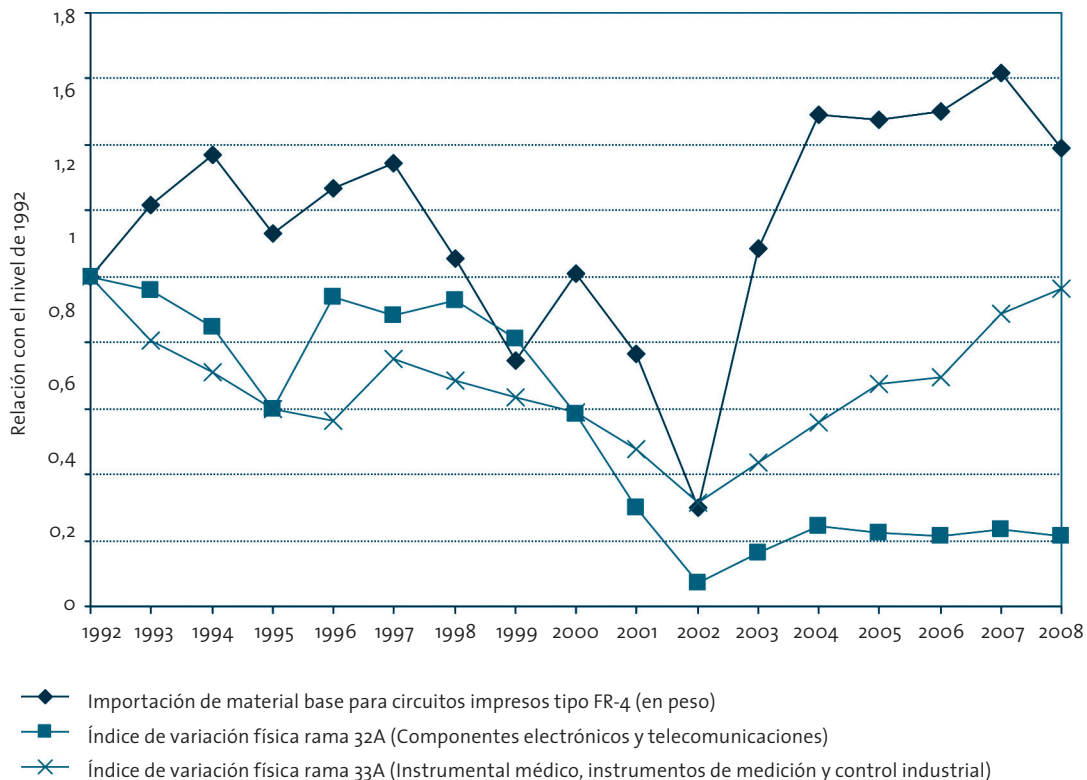
que tampoco es captada por los índices de variación física mencionados.

De acuerdo con estimaciones propias, las ramas de la industria manufacturera que tienen base electrónica, totalizaron en 2006 una producción de casi 5.750 millones de pesos de ese año, con unos 1.200 establecimientos productivos y cerca de 20.000 ocupados en forma directa.

Las importaciones de productos electrónicos, muy ligadas al nivel de actividad, registraron una caída muy importante en 2001 y 2002 y, en 2003, comenzaron una recuperación a ritmo acelerado. Los segmentos Comunicaciones y Procesamiento de datos y máquinas de oficina explican casi el 70% de las importaciones totales de productos electrónicos (Figura 6).

Como se señaló arriba, la industria electrónica argentina ha registrado una profunda transformación en la última década. Las empresas multinacionales asentadas en el país, que lideraban la producción a comienzos de la década del 90 como *Siemens*, *IBM* y *NEC*, han reducido sensiblemente sus actividades de desarrollo y fabricación de "hardware" en el país. El presente el sector está conformado principalmente por PyMEs de origen nacional.

FIGURA Nº 5. IMPORTACIÓN DE MATERIALES BASE PARA LA FABRICACIÓN DE CIRCUITOS IMPRESOS Y PRODUCCIÓN EN TÉRMINOS FÍSICOS (IVF) DE LAS RAMAS 32A Y 33A (AÑO 1992=1).



Fuente: elaboración propia con datos de INDEC.

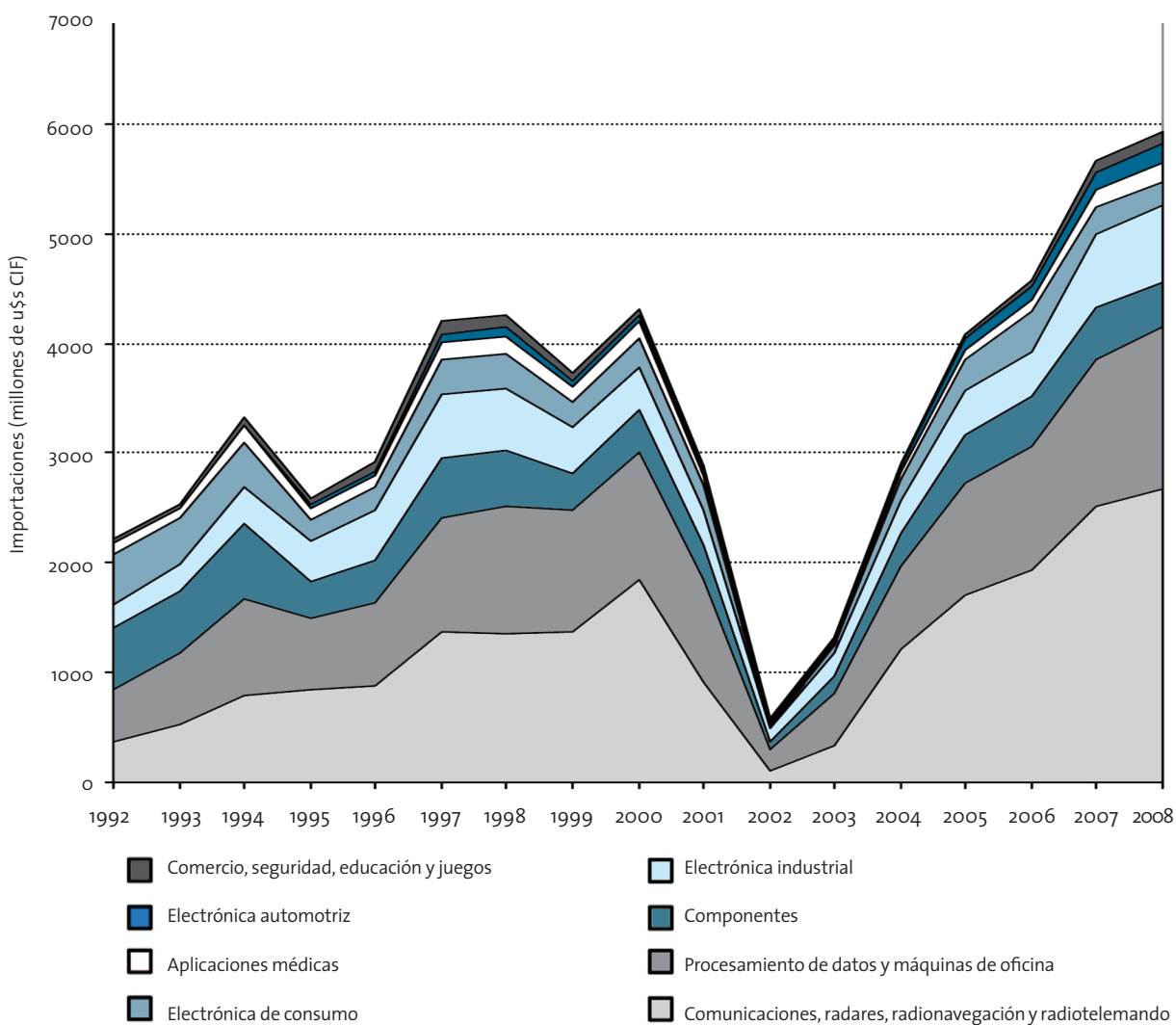
Además de la modificación de la estructura de la industria en lo referente a tamaño y origen de las empresas, se verifica un cambio en el peso relativo de los distintos segmentos de aplicación en la oferta local. Un indicio de estos cambios puede tenerse al observar la evolución relativa de las exportaciones de los distintos segmentos. Los tres primeros rubros, que explican actualmente más del 70% de las exportaciones (Automotriz, Industrial y Aplicaciones Médicas) representaban menos del 13% en 1992 y el 23% en 1995 (Figura 7). El segmento comunicaciones, vio reducirse sus niveles de producción y empleo en proporción mucho mayor a las de otros segmentos y, consecuentemente, su participación en el valor agregado del sector es sensiblemente menor. Por su

parte, la evolución tecnológica ha determinado el surgimiento de nuevas aplicaciones y, con ellas, de nuevas oportunidades para las capacidades locales. Entre estas nuevas especialidades de la industria local se destacan los sistemas para GNC (vehículos y estaciones de servicio), sistemas para maquinaria agrícola, electrónica automotriz, sistemas para tarificación telefónica y juegos de azar. Otros rubros, tradicionalmente fuertes en Argentina como el de aplicaciones médicas e industriales, fueron capaces de acompañar el desarrollo tecnológico en medida suficiente como para mantener su participación en la oferta del sector e incrementar sus exportaciones.

La electrónica de consumo se encuentra prácticamente circunscripta a los establecimientos asentados en Tierra del

Fuego. Su oferta cubre una proporción apreciable de la demanda local en algunos productos, pero su desempeño exportador es pobre¹⁰. Se trata de empresas que arman los aparatos desarrollados en el extranjero a partir de sus partes y componentes importados sin abonar derechos de importación. Algunas de las plantas ensambladoras pertenecen a grandes cadenas de comercialización de electrodomésticos. Además de la exención de derechos aduaneros, las empresas industriales allí asentadas tienen otros beneficios fiscales; la exención del IVA y una alícuota menor de impuestos internos (esto último, recientemente concedido). A partir de las modificaciones introducidas al régimen hacia fines del año 2009, que amplían las ventajas impositivas respecto de los productos importados, se

FIGURA Nº 6. IMPORTACIONES ARGENTINAS DE PRODUCTOS ELECTRÓNICOS POR SEGMENTO DE APLICACIÓN. EN DÓLARES CORRIENTES (US\$ CIF).



Fuente: elaboración propia con datos de INDEC.

han concretado nuevas inversiones, que determinarán un incremento importante de producción de algunos productos, especialmente teléfonos celulares.

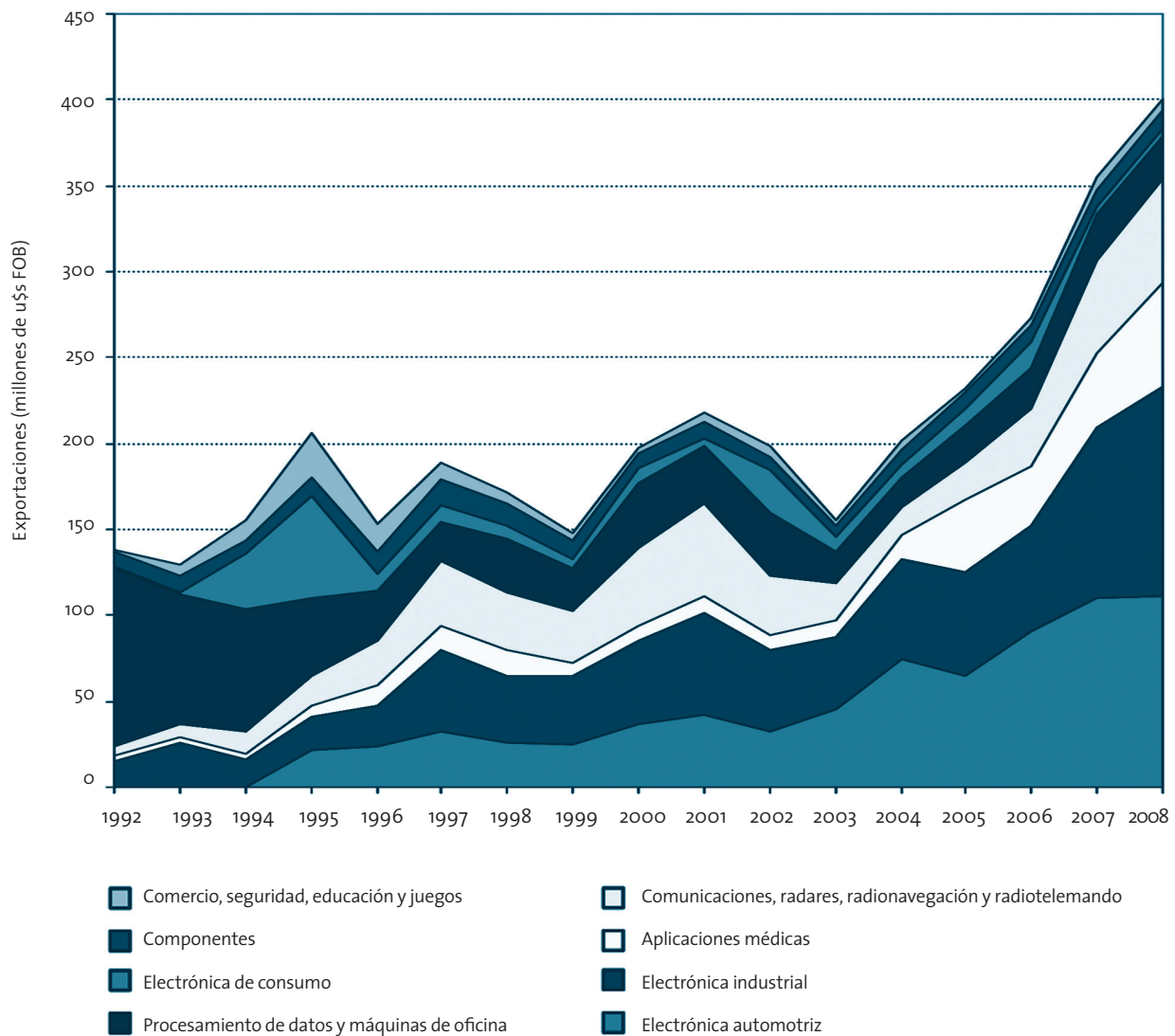
El segmento de equipos para el procesamiento electrónico de datos y máquinas de oficina está representado, principalmente, por las empresas ensambladoras de computadoras personales de escritorio y portátiles, bajo marcas comerciales propias. Como en la electrónica de consumo, los equipos informáticos se producen en grandes volúmenes. Sin embargo, a diferencia de lo que sucede en aquél caso, la concepción modular de los equipos informáticos ha creado mercados de subsistemas y partes con un alto nivel de estandarización ("commoditización"). Esta situación hace posible que en

el mercado argentino, se alcancen economías de escala suficientes en algunos procesos de fabricación de subsistemas, como el montaje de tarjetas de memoria, que se producen en el país desde 2005.

En el presente, el sector productor de equipos para telecomunicaciones está conformado por unas 50 empresas PyMEs de capital nacional. Ante la escasa demanda de parte del sistema de telefonía pública, la atención de los fabricantes nacionales se orientó a los sistemas privados, principalmente centrales de conmutación y sus partes. Con distinto nivel de integración nacional, también se producen en el país: equipos de radio para vehículos y radiotelefonía rural, estaciones base para radiomensajería, teléfonos públicos, módems, radio módems, con-

centradores digitales y analógicos para telefonía y radioenlaces digitales, entre otros. En el rubro partes y accesorios para sistemas de comunicaciones, como por ejemplo, duplexores, filtros, preseleccionadores, amplificadores, convertidores de norma, repetidores para telefonía celular, existen varias empresas pequeñas que exportan algunos de sus productos a mercados exigentes como Estados Unidos. Dentro del área de telecomunicaciones, merece una mención especial el sector productor de equipamiento de audio y video profesionales para radiodifusión y televisión. Impulsado por la fuerte penetración de la radiofonía y la televisión por cable en la Argentina, el sector cuenta con una producción diversificada y de alto nivel técnico como demuestran sus

FIGURA Nº 7. EXPORTACIONES ARGENTINAS DE PRODUCTOS ELECTRÓNICOS POR SEGMENTO DE APLICACIÓN. EN DÓLARES CORRIENTES (US\$ CIF).



Fuente: elaboración propia con datos de INDEC.

exportaciones. Un mercado que se abre en esta materia es el de los equipos conversores para TV digital. A poco de definirse la norma que utilizarán las transmisiones en Argentina, ya existe una oferta local de esos dispositivos.

La electrónica industrial comprende fundamentalmente los sistemas electrónicos utilizados en el control de procesos industriales, instrumentos de medición destinados a procesos productivos (no necesariamente industriales¹¹), electrónica de potencia, incluidas las máquinas para el corte, conformado o soldadura de materiales que operen mediante arco, láser, plasma, electroerosión y otros principios eléctrico-electrónicos.

Este amplio espectro de aplicaciones forma un segmento importante para la industria electrónica nacional, que si bien sufrió desde fines de la década del 80 el achicamiento y hasta la desaparición de algunos rubros de demanda, supo desarrollar otros que mantuvieron su vitalidad, como los sistemas para GNC y para maquinaria agrícola. Por ejemplo, la demanda de módulos de control destinados a máquinas de control numérico se redujo notablemente debido a la estrepitosa caída de la producción local de estas máquinas. Paralelamente, el desarrollo de la industria local de GNC determinó el surgimiento de fabricantes de sistemas electrónicos para la conversión de vehículos y para estaciones de servicio. Estos últimos, lideran las exportaciones del segmento concentrando más del 10% de las ventas al exterior (unos US\$ 6,7 millones en 2005).

El segmento se encuentra conformado por unas 400 empresas que fabrican y/o desarrollan sistemas destinados a la producción de diversos bienes y servicios. Los rubros más importantes de la oferta local son:

- Básculas, balanzas de uso industrial y celdas de carga.
- Sistemas de medición y control de surtidores de GNC.
- Instrumentos de medición.
- Sistemas para Control destinados a la industria y el transporte.
- Sistemas para maquinaria agrícola.

La Argentina cuenta con una importante historia en el desarrollo y fabricación de equipos de electromedicina, especialmente en campos como rayos X, electrofisioterapia, neonatología, aerosolterapia, hemodiálisis y medicina nuclear. En los últimos años, estas especialidades se fueron consolidando y creciendo, dando lugar a la aparición de nuevos produc-

tos con otras aplicaciones, en muchos casos desarrollados por nuevas empresas. Con distintos contenidos de electrónica se pueden mencionar, entre otros: angiógrafos, mamógrafos, electrobisturís, electroencefalógrafos, máquinas de anestesia, esterilizadores, electrocardiógrafos, monitores de signos vitales, pupilómetros digitales, oxímetros, analizadores de gases en sangre, monitores de parámetros fisiológicos, monitores cardíacos y desfibriladores, equipos para ablación por radiofrecuencia, analizadores clínicos automáticos, fotómetros y espectrofotómetros y equipos de electromedicina estética.

Se trata de un segmento formado casi exclusivamente por PyMEs de capital nacional con gran vocación por la innovación en sus productos. Muchas de las empresas del segmento lograron mantener el nivel tecnológico de su oferta durante la década del 90 gracias a la reparación y mantenimiento de equipos importados desde países centrales (Aspiazu, Basualdo et al., 2003). Muchas de las empresas pertenecientes a este segmento exportan una parte considerable de su producción

En el país se fabrican diversos tipos de sistemas destinados a su utilización en automóviles. Además de los sistemas de audio, como radorreceptores con reproductores de "compact discs" y MP3 y módulos de control de motor que se producen en Tierra del Fuego, se fabrican sistemas de encendido electrónico, sensores de presión de neumáticos y diversos sistemas destinados a la conversión de vehículos a GNC, alarmas, entre otros.

Se producen, además, una variedad de sistemas destinados al sector terciario (comercio y servicios¹²) como balanzas comerciales, cajas registradoras, impresoras fiscales y no fiscales, sistemas POS, terminales de autoatención bancaria, máquinas contadoras y empaquetadoras de billetes y monedas, destructores de monedas, expendedores de billetes, monedas y estampillas, sistemas de estacionamiento medido, y tarifadores para locutorios. El de los tarifadores es un nicho de mercado que ha tenido un desarrollo notable en los últimos años ya que los fabricantes locales atienden casi toda la demanda doméstica y realizan exportaciones, principalmente a países de Latinoamérica. También existe fabricación local de alarmas domiciliarias y porteros eléctricos.

Por último, un segmento que ha crecido significativamente en los últimos años, es el de los juegos de azar electró-

nicos como ruletas, tragamonedas, etc., también con exportaciones a mercados desarrollados (principalmente Estados Unidos y Europa).

Partes y componentes nacionales

En la 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.

Existen, sin embargo, algunas producciones que por distintos motivos pudieron continuar en el país. Por ejemplo, parlantes para receptores de radio, música ambiental, intercomunicaciones, gabinetes acústicos, juegos electrónicos, alta fidelidad y auto-radio. Otras partes se producen en el país gracias a su carácter de realizadas 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). Recientemente comenzaron a fabricarse en el país circuitos impresos multicapa.

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

El diseño de integrados es una actividad que ya se desarrolla en la Argentina, aunque todavía en forma escasa. Además de profesionales independientes, existen grupos de investigación especializados en diseño microelectrónico en algunas universidades argentinas, entre los que se destacan los existentes en el Instituto de Investigaciones en Ingeniería Eléctrica perteneciente al Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras de la Universidad Nacional del Sur y el que funciona en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería y Tecnologías de la Universidad Católica de Córdoba. En estos centros se han desarrollado integrados de aplicación específica (ASIC) que se utilizan en distintas aplicaciones.

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.*, una firma “fabless” que ha instalado recientemente un centro de desarrollo 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 MEMS¹³ 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.

PERSPECTIVAS

En las condiciones actuales, parece difícil que en el país puedan desarrollarse, más allá del nivel alcanzado, los segmentos más dinámicos a escala mundial como son el “hardware informático” y las comunicaciones. Las aplicaciones menos masivas, como la electromedicina, la electrónica industrial y la seguridad, cuentan con mejores perspectivas. En el segmento de consumo el crecimiento está muy ligado a la evolución del mercado interno y regional, aunque difícilmente pueda conseguirse un aumento del valor agregado local de esta rama. La electrónica automotriz representa una gran fuente de crecimiento futuro, aunque el ingreso de la industria local a los sistemas más sofisticados requeriría una política específica, dada la preponderancia en este mercado de firmas líderes vinculadas a las terminales.

En general, las posibilidades de crecimiento de la industria electrónica nacional, se ven afectadas por la típica problemática de las PyMEs. Las dificultades se presentan fundamentalmente en cuatro temas: financiamiento de mediano y largo plazo, competencia de productos importados a menor precio, escasez de mano de obra calificada y acceso a nuevas tecnologías.

A las limitaciones generales que presenta el financiamiento de empresas PyMEs en el ámbito local, en este sector en particular, se suma la incertidumbre propia de una industria tecnológicamente tan dinámica. El sector público puede contribuir a resolver los problemas de información que surgen en el momento de evaluar proyectos productivos. En este sentido, resulta fundamental consolidar y difundir instrumentos como el FONTAR y generar mecanismos que permitan canalizar líneas de crédito de bancos comerciales a proyectos del sector.

Muchas de estas industrias son, además, empresas comerciales que revenden productos importados en forma directa, generalmente del mismo campo de aplicación que los productos propios. De esta forma, logran economías de alcance que equilibran el negocio general y mantienen abiertos los canales comerciales que les permiten mayor flexibilidad. En efecto, es muy frecuente que los fabricantes pasen a la condición de importadores de productos similares a los propios ante la caída de rentabilidad de la actividad manufacturera. La creación de instrumentos de promoción fiscal para actividades de fabricación en el país

que se encuentren en el límite de rentabilidad, permitiría acrecentar el universo de equipos producidos localmente. Los proyectos generados tendrían una perspectiva aceptable de éxito, dado el manejo comercial de esos bienes que ya poseen sus potenciales productores.

De igual forma que en otros lugares del mundo, en la Argentina existen empresas que comercializan el servicio de fabricación de los sistemas electrónicos desarrollados por sus clientes. Esta modalidad permite reducir costos y riesgos a las empresas desarrolladoras. Estas empresas, denominadas en la jerga “armadoras”, realizan las tareas de montaje de componentes en los circuitos impresos, ensamblado final de los equipos y posterior testeo. En algunos casos, también proveen los componentes, aprovechando su mayor escala de demanda. En relación con esta actividad es interesante el caso de la iniciativa de algunas empresas de Córdoba nucleadas en una cámara empresaria para la creación de un centro de manufactura destinado a prestar el servicio a esas y a otras empresas. Con apoyo financiero del FONTAR, las 22 empresas participantes de este proyecto, en carácter de socios aportantes, crearon un centro equipado con una línea completa de fabricación flexible, totalmente robotizada, para el ensamble de plaquetas electrónicas de tecnología SMT¹⁴ (montaje superficial), una línea de soldadura e inspección óptica y de rayos X de Circuitos Integrados de tecnología BGA (*Ball Grid Array*) y un sistema informático de diseño y simulación avanzada de circuitos electrónicos (CAD). Todo esto contenido en una sala limpia para evitar la contaminación de los procesos por impurezas. Además, el centro brinda asistencia tecnológica a las empresas para que apliquen esta tecnología en sus diseños y así puedan operar con el centro.

La demanda de recursos humanos con formación especializada en electrónica (ingenieros y técnicos) originada en la industria electrónica argentina, representa una pequeña parte de la demanda total. Esta situación implica una complicación para el sector, ya que la oferta, como es natural, adopta las características destinadas a satisfacer las exigencias de los principales demandantes (servicios y otras industrias). A su vez, los niveles salariales de estos especialistas se establecen en un mercado mucho más amplio que el definido por el sector, que resulta ser, de esta forma, un mero tomador de precios de uno de sus princi-

pales insumos, la mano de obra calificada. Por otra parte, debido a la creciente participación del “software embebido” en los equipos electrónicos, los profesionales de sistemas juegan un papel cada vez más importante en las empresas locales. De esta forma se plantea una competencia difícil por los recursos humanos con un sector en ascenso en el país, como es el de la producción de “software”, que además posee una legislación de promoción especial y atrae fuertes inversiones de empresas multinacionales. La implementación de programas oficiales de becas para estudiantes de las carreras electrónicas y de pasantías orientadas a empresas productoras de equipos electrónicos permitiría compensar, al menos parcialmente, esta desventaja.

Desde el punto de vista tecnológico, la microelectrónica constituye en la actualidad el núcleo de la industria, ya que es la actividad proveedora de los componentes que cumplen las funciones más complejas en los circuitos electrónicos. Además, lidera el cambio técnico que hace posible el lanzamiento constante de nuevos tipos de sistemas electróni-

cos y el mejoramiento de los existentes. Por otra parte, el valor de la microelectrónica contenida en los sistemas exhibe una tendencia creciente. Por estas razones, el país no debería renunciar al objetivo de desarrollar una industria microelectrónica que podría iniciarse con empresas “fables”, para incursionar, en una segunda etapa, en la fabricación especializada de dispositivos intensivos en ingeniería pero menos demandantes en materia de tecnología de procesos. Naturalmente, la cuestión de la escala es una barrera a superar. Para ello deberá recurrirse inicialmente a contratos oficiales en áreas como salud, defensa, seguridad, administración pública, etc.

La difusión de la tecnología microelectrónica en la Argentina es un tema fundamental en el que se han logrado importantes avances en los últimos años. Los principales centros con capacidades en esta materia que existen en el país impulsan, en forma conjunta, la creación de un centro de investigación y desarrollo en microelectrónica que permita acrecentar la capacidad de formación de recursos humanos en la especialidad y canalizar proyectos de desarrollo

de las empresas locales. Es importante que este camino se recorra sin demoras ni retrocesos para lograr el aprovechamiento productivo de los conocimientos técnicos existentes en los centros del sistema público de ciencia y tecnología.

Las nuevas tecnologías en el área electrónica prometen la aparición de productos que modificarán sustancialmente algunas actividades humanas como el transporte, la salud, la generación y ahorro de energía, la comunicación, el entretenimiento, la alimentación y la seguridad. Los nuevos productos harán un uso intensivo de materiales no utilizados en forma tradicional por la electrónica. Es necesario, por lo tanto, alentar la innovación en estos y otros posibles campos de aplicación mediante el planteo, desde el sector público, de proyectos tendientes a resolver necesidades de la sociedad, cuya solución pueda alcanzarse en un plazo razonable y permita incrementar el acervo tecnológico del país. Un ejemplo de esta política es la contratación a INVAP SE para la provisión de radares de concepción propia para el control de tráfico aéreo. ■

1. Original Equipment Manufacturer.
2. Application Specific Integrated Circuit. Se trata de aquellos circuitos integrados fabricados por encargo de un cliente.
3. Se trata de la tecnología utilizada en la gran mayoría de los circuitos integrados producidos en la actualidad.
4. Reciben la denominación de ASICs estructurados aquellos ASIC en los que sólo una parte fue desarrollada a la medida de las necesidades del usuario.
5. Electronic Design Automation.
6. Intelectual Property.
7. Debe tenerse en cuenta que la tendencia tecnológica a una creciente miniaturización de los circuitos implica un mayor rendimiento del material base en la actualidad, en comparación con la situación a comienzos de la década del 90, lo que refuerza el sentido de las conclusiones que se extraen del análisis de las cifras.
8. La exportación de circuitos impresos es muy inferior a la producción y a la importación.
9. Para este análisis fue necesario restar de las cantidades de impresos importados (en peso) los ingresos por las aduanas de Tierra del Fuego, ya que éstos responden al consumo de las industrias asentadas en esa isla, que no pertenecen a las ramas 32A y 33A. Estas empresas importan cierta cantidad de impresos a través de otras aduanas (principalmente Buenos Aires), situación que distorsiona algo la serie utilizada, pero el efecto de esta distorsión no es lo suficientemente importante como para invalidar las conclusiones del análisis.
10. La empresa FAMAR SA asentada en Tierra del Fuego exporta una parte considerable de su producción pero sus productos corresponden al segmento de Electrónica Automotriz.
11. Por razones de afinidad tecnológica, se consideran en este segmento algunos equipos electrónicos destinados a la prestación de servicios o a la producción primaria como por ejemplo medidores electrónicos de surtidores de GNC, señalamiento para transporte ferroviario y computadoras de siembra, entre muchos otros.
12. Se excluyen las aplicaciones para los servicios de transporte que por convención se incluye en el segmento Electrónica Industrial y atención médica que se incluye en el segmento Aplicaciones Médicas.
13. La sigla MEMS corresponde a Microelectromechanical Systems. 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.
14. En los sistemas electrónicos es cada vez más frecuente la utilización de la tecnología SMT (montaje superficial), ya que una proporción cada vez mayor de integrados se producen con esta tecnología de montaje. Las inversiones para el armado de este tipo de circuitos son considerablemente más elevadas que para el armado tradicional, siendo un factor importante para la concentración de la producción en fábricas especiales que reciben productos de distintos desarrolladores de sistemas (fabricación bajo contrato).

Referencias bibliográficas

- Arensman Russ. Specialty Strategies. Electronic Business, 8/1/2005. Reed Elsevier Inc.
- 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.
- Ernst, Dieter. Pathways to Innovation in the Global Network Economy: Asian Upgrading Strategies in the Electronics Industry. East-West Center Working Paper. Economic Series No. 58, June 2003. Honolulu Hawaii. USA.
- Krueger Sven, Grace Rocer. New Challenges for Microsystems Technology in Automotive Applications. MST News 1/01. 2001.
- Schöner Hans-Peter. Automotive mechatronics. Control Engineering Practice. 2003. Elsevier Ltd.
- 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). Múnich, marzo 1981.
- Azpiazu, Daniel, Basualdo, Eduardo, Dmitruk, Andrés y Notchteff, Hugo. Estudio sobre el sector microelectrónica y sus aplicaciones en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Enero de 2003.