

# **Diseño Hardware en Uruguay: Una alternativa económica y técnicamente viable**

Julio Pérez Acle, Juan P. Oliver, Fernando Silveira  
Instituto de Ingeniería Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República  
(e-mail: julio@iie.edu.uy, jpo@iie.edu.uy, silveira@iie.edu.uy)

## **Resumen**

El objetivo principal de este trabajo es mostrar que el diseño de hardware es una alternativa válida a tener en cuenta a la hora de decidir acerca de cómo implementar un determinado desarrollo o la viabilidad técnico - económica de un cierto producto en nuestro medio.

Sin pretender hacer un análisis histórico del desarrollo de hardware en Uruguay y su relación con el software, se mostrarán nuevas tendencias en el diseño hardware y sus alcances.

Múltiples factores han contribuido a que el diseño de hardware electrónico vuelva a ser una alternativa viable en nuestro país. La reducción de los costos fijos de producción y prototipado, el costo accesible de estaciones potentes de diseño asistido por computador, la facilidad de comunicación y acceso a la información de proveedores hacen factible hoy en día la aplicación en nuestro medio de técnicas de primera línea en la electrónica mundial. Ejemplos de estas técnicas son los dispositivos lógicos programables, los circuitos integrados de aplicación específica y los circuitos impresos de alta densidad. Este nuevo escenario ha permitido el desarrollo de los conocimientos necesarios para la aplicación de varias de éstas tecnologías y llevar a cabo algunas experiencias en su uso.

Se presentan una serie de experiencias realizadas en el Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería en los últimos años que muestran lo anteriormente expresado. Entre ellas podemos destacar el desarrollo de una tarjeta adquisidora de video, desarrollos en el área de lógica reconfigurable y el diseño de un circuito integrado a medida para marcapasos.

## **Abstract**

The main goal of this paper is to show that electronic hardware design is a valid alternative to be taken into account when deciding on the implementation of a certain development or the technical - economical possibility of a certain product in our context.

The intention is not to make a historical analysis of the development of hardware in Uruguay or its relationship with software. New tendencies in hardware design will be shown as well as its foresees.

Many factors have contributed to the feasibility of the electronic hardware design in our country. The use of state of the art technologies is being made possible by the reduction in prototyping and production fixed costs, the affordable cost of powerful CAD stations and the simplicity of communications and access to information from providers and manufacturers. Some examples of this techniques are PLDs, ASICs, and high density PCBs. This new scenario has allowed the development of the necessary knowledge for the use of many of this technologies and to be able to do some experiences in their uses.

A series of experiences done in recent years in the Instituto de Ingeniería Eléctrica (IIE) of the Facultad de Ingeniería are presented to show what was expressed earlier. Among them we highlight the development of a video acquisition board, developments in the area of reconfigurable logic, and the design of an ASIC for pacemakers.

**Keywords:** Electronic hardware design, ASIC, FPGA

## Introducción

El diseño de hardware electrónico en Uruguay ha presentado múltiples dificultades que van más allá de las capacidades de diseño. Muchos de estos factores han llevado a que sea muy difícil que un producto diseñado y construido en el país alcance calidad competitiva, tenga un grado de confiabilidad aceptable y utilice tecnología de primer nivel. Es necesario aclarar que sin desmedro de lo anterior, en Uruguay existen empresas que han vencido estas dificultades y realizan desarrollos de hardware de muy buena calidad y comercializando sus productos dentro y fuera del país.

Todos conocemos o hemos visto diversos productos electrónicos comerciales, en especial los que tienen relación con computadoras (motherboards, placas para PCs, etc.), y en ellos es fácil apreciar el grado de integración y calidad obtenido. Para llegar a estos grados de calidad es necesario acceder, tanto en las etapas iniciales de diseño y fabricación de prototipos como en la fabricación del producto final, a tecnologías que tradicionalmente han estado fuera del alcance de los desarrolladores de hardware en Uruguay. Podemos destacar los circuitos impresos de muy alta densidad con vías metalizadas y conectores dorados, el montaje superficial, circuitos integrados realizados a medida. Asimismo la utilización de conectores de buena calidad, cajas y ferretería estándar son indispensables para asegurar robustez que brinda buena confiabilidad y presentación que permite la comercialización.

A esto cabe agregar el constante abaratamiento de costos y la velocidad con que nuevos productos son lanzados al mercado.

Adicionalmente, el diseñador de hardware se ha visto enfrentado a otras dificultades relacionadas con el tamaño del mercado.

- Los costos de stock inviabilizan una buena oferta de componentes por parte de proveedores locales en cuanto a calidad y variedad. Por el mismo motivo no ofrecen (salvo excepciones) garantías de continuidad en las líneas de componentes que proveen. Al trabajar en general con pequeños volúmenes es difícil la relación con proveedores internacionales que venden componentes al mayoreo.
- Dificultades para obtener información técnica actualizada (catálogos y hojas de datos de componentes.)
- Software de diseño de muy alto costo y que corre solo en estaciones de trabajo.
- Inviabilidad económica de aplicar tecnologías como los circuitos integrados a medida debido a los bajos volúmenes de producción.

Estas dificultades llevaron a que, luego de importantes antecedentes de desarrollo de hardware en el país [Sutz], en los últimos años se fuera descartando el diseño y la implementación de hardware nacional como alternativa a la solución de problemas específicos.

Si bien en Uruguay resulta muy difícil competir desde el punto de vista económico en áreas de producción masiva como la electrónica de consumo, existen una gran cantidad de aplicaciones que se pueden resolver integrando productos estándar con productos diseñados a medida. Aplicaciones de este tipo se encuentran en áreas de control industrial, adquisición de datos, comunicaciones, automatización, ingeniería biomédica.

En lo que sigue se presentarán una serie de nuevas condiciones que comienzan a hacerse palpables, y en nuestra opinión facilitan el diseño y desarrollo en nuestro medio de productos de alta calidad. A continuación se presentarán tres experiencias realizadas en el IIE que avalan esta nueva realidad, y finalmente se resumen las conclusiones.

## **Nuevas condiciones para el desarrollo de hardware en Uruguay**

Muchas de las dificultades planteadas en el apartado anterior están evolucionando de manera favorable.

Por un lado se ha ido facilitando el acceso a proveedores de diferentes insumos y tecnologías de producción. En gran medida esto se ha visto facilitado por el abaratamiento y la amplia penetración de las comunicaciones internacionales vía Internet. Como ejemplos de esto podemos citar:

- Es relativamente sencillo obtener información actualizada de componentes a través de Internet y también es posible realizar la adquisición de los mismos en pequeñas cantidades a distribuidores directamente en el extranjero.
- Existen empresas que fabrican circuitos impresos de buena calidad que admiten prototipos y producción de series reducidas a costos muy razonables. La comunicación se realiza a través de Internet y se envían los archivos de diseño obteniendo los impresos unos pocos días después.
- Hay empresas que ofrecen servicios de soldadura de montaje superficial en la región.

Han surgido o se han extendido nuevas tecnologías de diseño en electrónica o métodos de producción que presentan costos fijos más bajos, facilitando de esta manera desarrollos con volúmenes de producción reducidos (algunos cientos) como los de nuestro medio. Asimismo se han establecido en estos años grupos de trabajo en el IIE que reúnen un saber hacer en estas tecnologías. Citemos aquí a las diferentes variantes de dispositivos lógicos programables y el diseño de circuitos integrados a medida. También en estos factores ha sido un fuerte catalizador el poder mantener una ágil comunicación con los fabricantes vía Internet.

Finalmente, cada vez en mayor medida se encuentran herramientas de diseño asistido por computador para estas tecnologías corriendo bajo un PC, permitiendo obtener estaciones de diseño a costos accesibles.

Todos estos factores han sido utilizados en mayor o menor medida en las experiencias que se describen más adelante y han sido determinantes para que fuera posible realizarlos.

## **Experiencias desarrolladas en el IIE**

Como forma de reafirmar lo anteriormente expresado queremos mostrar algunas experiencias realizadas en el Departamento de Control y Electrónica Industrial del Instituto de Ingeniería Eléctrica (IIE) (Facultad de Ingeniería, Universidad de la República). Primero se describen los grupos de trabajo involucrados, luego se da una breve introducción a las tecnologías utilizadas y finalmente se exponen algunas experiencias concretas.

Los desarrollos que se describirán en esta sección están vinculados al accionar de varios grupos de trabajo del IIE: los Grupos de Microelectrónica y Electrónica Aplicada que se ocupan de las técnicas involucradas en los proyectos que se presentarán y el Grupo de Tratamiento de Imágenes como proponente de uno de los proyectos en carácter de usuario del producto resultante.

El Grupo de Tratamiento de Imágenes se ocupa de las técnicas para la adquisición y procesamiento de imágenes. Recientemente este grupo se ha ocupado del procesamiento de imágenes biológicas adquiridas con un microscopio electrónico. De su trabajo en esta área surgió la necesidad de disponer de una tarjeta de digitalización de imágenes como la que se describe más adelante.

El Grupo de Microelectrónica se ocupa por una parte por una parte del diseño de circuitos integrados a medida (ASICs: Application Specific Integrated Circuits). El Grupo de Electrónica Aplicada se ha especializado en el diseño de circuitos digitales aplicando dispositivos lógicos programables, así como en el diseño e integración de equipos electrónicos para aplicaciones de medidas y adquisición de datos. Las actividades en ASICS y lógica programable comenzaron en 1991, inicialmente se contó con el apoyo de

la Comisión Sectorial de Investigación Científica de la Universidad de la República y posteriormente del programa CONICYT-BID [MICRO][PCSIC][COPRO]. Se han establecido los ambientes de desarrollo y los recursos humanos que han permitido realizar varios trabajos de asistencia a la industria nacional, así como cursos de grado y actualización profesional.

### ***Diseño de circuitos integrados a medida (ASICs).***

Esta área comprende un conjunto de técnicas cuyo objetivo es el desarrollo de un circuito integrado en que su estructura está parcial o totalmente diseñada para la aplicación en cuestión. Las técnicas de diseño y fabricación comprenden desde casos en que el circuito se desarrolla a partir de interconexión de elementos de biblioteca o de elementos prefabricados en una oblea de silicio (circuitos “semi-custom”) a cuando el diseñador define la estructura del circuito integrado en su totalidad (circuitos “full-custom”). La elección de una técnica u otra está vinculada a las particularidades del circuito deseado y a los volúmenes de producción previstos. En todos los casos y especialmente en el diseño “full-custom”, se tiene una gran libertad de diseño respecto a trabajar con circuitos integrados estándar de catálogo, que potencia enormemente las posibilidades de introducir innovaciones en el producto final. Al mismo tiempo al diseñar el circuito a medida es posible optimizar sus características para la aplicación, lo que redundará en mejora de la funcionalidad, reducción de tamaño, aumento de velocidad y/o reducción de consumo. A nivel del sistema la reducción del número de componentes por la sustitución de múltiples chips y componentes discretos por un solo integrado tiene como consecuencia además un aumento de la confiabilidad y en muchos casos una reducción de los costos.

Las desventajas de esta tecnología son los costos fijos y un mayor tiempo de desarrollo si la comparamos con la utilización de componentes estándar de catálogo, esto puso una cota inferior a los volúmenes de producción para los cuales es económicamente viable la utilización de ASICs. Esta cota inferior viene disminuyendo en los últimos años, lo que ha permitido (en algunos casos) llegar a los volúmenes de producción de Uruguay.

Las ventajas enumeradas anteriormente han hecho que la evolución de la industria electrónica en los últimos años haya mostrado un incremento en la utilización de soluciones basadas en ASICs en desmedro de las técnicas tradicionales basadas en circuitos integrados estándar de propósito general [Fey]. Esta evolución de los ASICs dentro del mercado de los dispositivos semiconductores se enmarca en un sostenido crecimiento de la industria electrónica. En los Estados Unidos la industria electrónica emplea hoy mayor cantidad de trabajadores que las industrias automotriz, del acero y aeroespacial combinadas, y en Europa se espera un panorama similar para el año 2000 [Court]. Más aún, el mercado de los dispositivos semiconductores ha aumentado a un paso aún mayor que el del conjunto de la industria electrónica.

En el Grupo de Microelectrónica del IIE en particular se cuenta con experiencia en diseño de ASICs analógicos y mixtos analógico - digitales. Dentro de esta área además se trabaja particularmente en circuitos para bajo consumo y baja tensión de alimentación. Esta área es de interés para aplicaciones tradicionales como los dispositivos médicos implantables, del que el proyecto que se describe más adelante es un ejemplo. Además, la difusión de los equipos electrónicos portátiles alimentados a baterías y la creciente densidad en término de número de dispositivos de los sistemas electrónicos, ha hecho que la atención a la reducción del consumo y la tensión de alimentación se hayan convertido en requisitos fundamentales.

### ***Diseño de circuitos utilizando lógica programable (PLD, FPGA)***

Si bien los circuitos lógicos programables pueden ser considerados ASICs por sus características particulares en cuanto al área de aplicación y a las técnicas de diseño los trataremos en forma diferente. Los circuitos lógicos programables en sus varias formas (Field Programmable Gate Arrays (FPGA), Programmable Logic Devices (PLD)) son circuitos electrónicos que contienen una gran cantidad de

elementos lógicos básicos (compuertas y celdas de memoria). Especificando las interconexiones entre esos elementos básicos se personaliza al dispositivo para realizar una función determinada. En lógica programable, esta personalización es realizada por el diseñador del sistema, no por el fabricante del circuito integrado. Esto permite bajar costos fijos y hace accesible esta tecnología para volúmenes de producción mucho más bajos.

Tradicionalmente los dispositivos lógicos programables son personalizados fuera del sistema, o cargan su personalización durante la inicialización. Se les puede cambiar su programación a medida que se va refinando el diseño de un prototipo. Esto da a los diseños con FPGAs suficiente flexibilidad para adaptarse a cambios en los requerimientos en etapas avanzadas del diseño, lo que los hace muy atractivos para realizar implementaciones tempranas de estándares no totalmente definidos [Watson].

Un enfoque más reciente en la utilización de las FPGAs aprovecha el hecho de que estos dispositivos permiten “infinitas” reprogramaciones en forma dinámica y que el tiempo que lleva la reconfiguración de los chips es muy pequeño. De esta manera se puede redefinir el hardware en tiempo real. Este nuevo enfoque ha dado en llamarse “Lógica Reconfigurable” [Conn]. Las mismas celdas lógicas pueden ser en determinado momento un contador, luego una ALU o un filtro digital. Cada compuerta puede realizar una función durante un tiempo y cuando ya no es necesaria ser utilizada para realizar otra.

## ***Aplicaciones realizadas***

### **Circuito integrado a medida para marcapasos**

Este proyecto, que se encuentra en sus fases finales, está siendo desarrollado por el Grupo de Microelectrónica del IIE en convenio con el Centro de Construcción de Cardioestimuladores del Uruguay S.A. (CCC). El proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un circuito integrado a medida para marcapasos que incorpore la totalidad de la circuitería de un marcapaso, a excepción del microcontrolador que comanda su operación. El circuito diseñado será incorporado a las próximas generaciones de marcapasos que CCC fabrica para el mercado nacional y para la exportación. La utilización de este ASIC permitirá a CCC la reducción del tamaño y consumo de sus marcapasos (varias decenas de componentes son reemplazados por un solo chip), con una ampliación simultánea de las prestaciones.

Un marcapaso moderno es un dispositivo altamente sofisticado en que la función básica de estimulación del corazón se complementa con funciones de:

- sensado de la señal cardíaca para detectar si el corazón latió espontáneamente y no es por tanto necesario estimular
- circuito de telemetría que permite la comunicación bidireccional con el exterior del cuerpo para recibir parámetros de funcionamiento que son programables por el médico para cada paciente y enviar estadísticas de operación
- circuito de sensado de la actividad física del paciente para adaptar el ritmo de estimulación a esta actividad
- supervisión de la tensión de batería

Todas estas funciones se cumplen a partir de una batería de 2.8V con consumos de corriente del orden de unos pocos microamperes, para asegurar la duración de la batería por períodos del orden de 8 a 10 años.

El chip desarrollado en el IIE incorpora toda la circuitería analógica-digital para realizar las funciones antes mencionadas bajo la dirección del programa almacenado en el microcontrolador del marcapaso. El desarrollo de un circuito “full-custom” con técnicas adecuadas permitió reducir el consumo actual con una ampliación simultánea de las prestaciones. Varios de los módulos ya han sido probados exitosamente y un prototipo completo se encuentra actualmente en fabricación. La duración total del proyecto,

incluyendo actividades afines propias de la aplicación, como el estudio de los aspectos de confiabilidad y test de confiabilidad a aplicar al circuito resultante, es de dos años.

Cabe destacar que las funciones antes mencionadas que se implementan en el circuito desarrollado: medidas de pequeñas señales, telemetría, circuitos de acondicionamiento y procesamiento de señal para sensores, interfaces para actuadores (estimulación en este caso), son comunes a muchas aplicaciones de adquisición de datos y accionamiento o control sea en áreas médicas, industriales, de telecomunicaciones o de electrónica de consumo. Por tanto la experiencia acumulada por el Grupo de Microelectrónica en este y otros proyectos de investigación, es directamente trasladable a proyectos futuros en estas otras áreas.

## **Experiencias realizadas con lógica programable**

Se han llevado adelante un gran número de experiencias utilizando dispositivos pequeños en una amplia gama de proyectos. Las aplicaciones de estos dispositivos han venido a sustituir diseños que antes se realizaban con componentes discretos. Entre ellas podemos mencionar: decodificación de memoria y entrada salida en sistemas con microprocesadores (“glue logic”), máquinas de estados específicas utilizadas en controladores, generador de señales de prueba para televisión, etc. La mayoría de estos circuitos forman parte de sistemas completos y fueron realizados por estudiantes en sus proyectos de fin de carrera.

Con respecto a la utilización de chips de mayor tamaño podemos destacar la realización de una placa para PC adquisidora de video que por sus características particulares se describe en un capítulo posterior, y la utilización de hardware programable en conjunto con un PC como forma de acelerar cálculo.

En este último aspecto se están llevando adelante dos proyectos diferentes:

- Procesador neuronal basado en FPGAs, que consiste en utilizar una placa para PC que incluye un gran número de chips programables para realizar redes neuronales en hardware. Este proyecto está en su etapa final y ya se han hecho diseños con una placa de estas características [RIPAlt] [Gucc].
- El otro proyecto que se encuentra en su fase inicial es utilizar una placa similar para implementar algoritmos en hardware y de esta forma disminuir el tiempo de ejecución de los mismos. Los algoritmos que se han elegido para esta aplicación son de procesamiento de imágenes debido a su alto costo de cómputo. La idea es tratar de trasladar parte del cálculo desde el microprocesador a hardware dedicado, y aprovechar la posibilidad de las infinitas reprogramaciones de los chips para realizar diferentes algoritmos en un mismo hardware.

## **Tarjeta adquisidora de video**

Este proyecto consistió en el diseño y construcción de una tarjeta para PC (bus ISA) capaz de digitalizar un cuadro de información de video. Adquiere señales en blanco y negro en varias normas de video, con una resolución de 10 bits. Además permite al usuario seleccionar una ventana dentro de la información de luminancia para mejorar la resolución de imágenes con poco contraste. Esto se logra ajustando por programa la ganancia y el offset a la hora de adquirir la señal, o dicho de otra manera ajustando el contraste y el brillo de la señal de video antes de digitalizarla de modo de aprovechar al máximo el rango dinámico disponible en el conversor análogo-digital. Cada cuadro es almacenado en memoria dentro de la tarjeta y luego es transferido a la memoria del PC mediante DMA. El bloque de control de toda la placa fue resuelto con un único chip FPGA.

Este proyecto puede tomarse como un ejemplo de desarrollo de un producto electrónico completo. En él se utilizó ampliamente la tecnología de lógica programable, se utilizaron herramientas de diseño asistido por computador y además se resolvieron problemas concretos en cuanto a la utilización de proveedores no nacionales para diversos aspectos. Con respecto a esto podemos destacar la realización del circuito impreso y la compra de componentes vía Internet. Se utilizaron y soldaron chips de montaje superficial.

## Conclusiones

Todos los ejemplos mencionados reúnen una serie de aspectos comunes: la utilización de comunicación vía Internet, la reducción de volúmenes para aplicación de tecnologías avanzadas (sea FPGAs, impresos o ASICs) que resultan en que los diseños sean viables.

Nos parece importante destacar que en nuestro país se están poniendo en práctica estas tecnologías para la realización de productos reales.

La conclusión principal es que hoy en día es posible diseñar y construir productos electrónicos de buena calidad utilizando tecnologías de punta en Uruguay. Existen aún grandes limitaciones que es necesario resolver y sistematizar, y en este aspecto el Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería puede jugar un papel importante, como lo ha hecho en los ejemplos descritos en este trabajo, a través de la adquisición de nuevas tecnologías y brindar servicios de diseño, asesoramiento y formación en estas áreas a la Industria Nacional, así como poniendo a disposición de la producción nacional recursos humanos, de información y laboratorios.

Es tarea difícil encontrar los nichos del mercado para los cuales diseñar el hardware a utilizar sea rentable o conveniente. Algunas de las ventajas son la posibilidad de agregarle al producto características que sean importantes para la aplicación que no se encuentren en productos estándar y la posibilidad estratégica de conocer a fondo el desarrollo, lo que permite realizar variaciones a medida con bajo costo posterior.

Todos los ejemplos descritos incluyen a nivel de sistema software, por lo que ésta puede ser una área de simbiosis con la producción de software de calidad para producir y exportar productos de alta competitividad y calidad o también exportar la capacidad de ingeniería de diseño.

## Equipo de trabajo

Este artículo ha surgido del convencimiento de los autores de la posibilidad de realizar hardware de alta calidad en nuestro país, y como tales asumen la responsabilidad de las opiniones expresadas en el mismo. Sin embargo los trabajos y experiencias que aquí se describen fueron realizados por un amplio equipo humano que incluye además de los autores a los siguientes docentes y estudiantes del IIE:

Hugo Valdenegro, Pablo Mazzara, Conrado Rossi, Oscar de Oliveira, Marcelo Barú, Gonzalo Picún, Alfredo Arnaud, Gabriel Eirea, Sergio Louro, Raúl Acosta, Gregory Randall, Rafael Sotelo.

La política expresa de apoyo a estas líneas de trabajo por parte de la dirección del IIE y en especial del Departamento de Control y Electrónica Industrial ha sido fundamental para el desarrollo de los Grupos de Trabajo y la realización de las actividades mencionadas.

## Referencias

[Conn] Conner, D., "Reconfigurable Logic: Hardware speed with software flexibility", EDN, Mar. 28, 1996, pag. 53-64.

[COPRO] "Coprocesador Neuronal". Proyecto No. 355. Programa CONICYT/BID.

[Court] Courtois, B.; "CAD and Testing of ICs and Systems: Where are we going?", *Journal of Microelectronic Systems Integration*, Vol 2, No. 3, 1994.

- [Fey]. Fey, C. F.; Paraskevopoulos, D. E.; "A Techno-Economic Assessment of Application-Specific Integrated Circuits: Current Status and Future Trends", *Proc. of the IEEE*, Vol. 75, June 1987.
- [Gucc] Guccione, S.; List of FPGA-based Computing Machines", [http://www.io.com/~guccione/HW\\_list.html](http://www.io.com/~guccione/HW_list.html)
- [MICRO] Laboratorio de Microelectrónica. Proyecto No. 105. Programa CONICYT/BID.
- [PCSIC] Introducción de las nuevas tecnologías para el diseño de sistemas electrónicos: Dispositivos Lógicos Programables. Proyecto CSIC.
- [RIPAlt] Placa RIPP10 Altera en "Altera Programmable Hardware Development Program", <http://www.altera.com/html/programs/phd.html>.
- [Sutz] Snoek, M.; Sutz, J.; Vigorito A.; "Tecnología y Transformación, la industria electrónica uruguaya como punto de apoyo"; Montevideo, Uruguay, 1992, CIESU; Trilce.
- [Watson] Watson, J.; "Real World Applications of Rec. Computing", Xilinx/Cornell Reconfigurable Workshop, July 10-12, 1996, Cornell University, USA.