

# Desarrollo de Dispositivos Electrónicos de Aplicación Específica a Baja Escala

**Ing. Alejandro Fourcade, Mg Jorge Eterovic**

Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas Universidad Nacional de La Matanza

Florencio Varela 1903 (B1754JEC), San Justo, (5411) 4480-8900

afourcade@unlam.edu.ar; eterovic@unlam.edu.ar

## RESUMEN

Los métodos y procesos de desarrollo e implementación de circuitos electrónicos han sufrido cambios importantes en las últimas décadas. Desde la ubicación de los grandes centros de producción y de diseño, hasta las etapas que deben seguirse para completar exitosamente un proyecto electrónico, han sufrido cambios, correcciones y modificaciones sucesivas.

Analizando las plataformas de desarrollo embebido que ofrece el mercado, su creciente complejidad y especificidad, su disponibilidad a bajo costo y su gran cantidad de casos de uso documentados, se puede concluir que el escenario tecnológico para el programador de sistemas embebidos ha cambiado lo suficiente como para fijar nuevas reglas para desarrollos rápidos, técnicamente avanzados y altamente competitivos.

La Industria 4.0, los diferentes IOTs (Internet of Things): Industrial IOT, Enterprise IOT, automóviles autónomos, edificios inteligentes, robots industriales interconectados, son solo algunas de las aplicaciones tecnológicas que refuerzan el análisis de qué nivel de conocimiento específico debe tener un profesional hoy.

En cuanto a los objetivos conceptuales del trabajo de investigación, los cambios anteriormente descriptos dejan en evidencia la necesidad de actualizar la visión del acceso y aplicación del conocimiento. La transmisión de conocimientos enmarcados en un contexto de aplicación con un nivel de abstracción superior al nivel de bit.

El proyecto propone construir hardware digital, que incluya tecnología avanzada en microcontroladores y en DSP (Digital Signal Processing) de aplicación real en el mercado. Para

llevar a cabo este objetivo se utilizarán estrategias de dirección de proyectos que incorporen conceptos de métodos ágiles, MVP (Minimum Viable Product), ciclos de desarrollo iterado, mejora continua y la metodología COTS (Commercial off-the-self).

**Palabras Clave:** *Diseño electrónico; DSP – Digital Signal Processing; Software COTS – Commercial off-the-self.*

## CONTEXTO

Este proyecto de investigación se desarrolla en el marco de un Programa de Incentivos a Docentes Investigadores de la Secretaría de Políticas Universitarias (PROINCE) en el Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas de la Universidad Nacional de La Matanza.

El proyecto es financiado por el propio Departamento y es del tipo investigación aplicada. El mismo propone construir hardware digital que incluya tecnología avanzada en micro controladores y en DSP (Digital Signal Processing) de aplicación real en el mercado. Los trabajos de campo y relevamientos realizados aportaron información valiosa y sirvieron como base para el presente trabajo.

## 1. INTRODUCCIÓN

La drástica alteración de los ciclos de vida de los productos tecnológicos ha modificado las necesidades y objetivos de los procesos de desarrollo. El tiempo de puesta en mercado de las nuevas tecnologías debe ser lo más corto posible, en caso contrario se corre el riesgo de generar un producto con especificaciones desactualizadas.

La importancia del desarrollo intensivo, orientado a resultados y con objetivos operativos colabora con la disminución del TTM (Time To Market), parámetro crítico dentro de cualquier esquema de desarrollo tecnológico actual.

Por ello, los métodos clásicos de diseño e implementación han cambiado, acortando los plazos, aun los que corresponden a las pruebas de confiabilidad. La documentación, tanto de los procesos como de los productos se ha minimizado brindando información técnica más genérica y menos abundante.

La cultura que rodea a la generación de un producto ya sea diseño electrónico como programación de firmware y aplicaciones requiere hoy de reflejos rápidos para no comprometer las posibilidades de éxito [1]. El desarrollo de software de aplicación ha cambiado de enfoque en sus procesos y hoy conviven modelos con mandatos casi opuestos.

Mientras que en el desarrollo en cascada el proyecto se hace según la especificación inicial, en los métodos ágiles se puede corregir, ampliar o recortar los requerimientos de inicio [2]. En Scrum se realizan ceremonias que reafirman los puntos del manifiesto Ágil, se minimiza la documentación, se centra el desarrollo en la satisfacción del cliente y se itera en Sprints generando productos funcionales intermedios (MVP) [3].

En los métodos clásicos se prioriza llegar con el producto terminado a la fecha límite fijada al principio del proyecto, y evitar a toda costa excederse en plazos para no tener penalidades ni comprometer del presupuesto previsto.

Mientras que el software de aplicaciones evolucionó e incorporó cambios de proceso y principalmente, aceptó pensar diferente el proceso de desarrollo, en los sistemas embebidos o en los desarrollos electrónicos nada de eso sucedió, fundamentalmente porque el axioma, en un principio, fue que no podrían aplicarse métodos ágiles en desarrollos con software que maneja hardware [4].

Los procesos que intervienen en el diseño de productos embebidos siguen siendo hoy, mayoritariamente los tradicionales, pero lentamente muestran creciente permeabilidad a incorporar nuevos enfoques y procesos.

Las opciones disponibles a la hora de comenzar el desarrollo de un sistema embebido se han

diversificado, proponiendo nuevas variantes. Algunas son la evolución de herramientas preexistentes, otras formas más ágiles y sencillas de generar código. Mostrar resultados en la nube o en la web se ha transformado hoy en un objetivo fácilmente accesible gracias a plataformas, middlewares o protocolos específicos. Esa es una de las razones por las que se ha producido una revolución principalmente en las potencialidades de los desarrollos de baja y media escala [5].

Otra de las razones que impulsó este cambio fue la drástica disminución de los precios de los microcontroladores y su multiplicación de plataformas de desarrollo. Este hito, puso al alcance de muchos pequeños desarrolladores la potencia de microcontroladores avanzados. La posibilidad de prototipar a bajo costo, el acceso a impresoras 3D para diseñar gabinetes o accesorios, la oferta creciente de cortes laser o trabajos en CNC ponen al alcance del desarrollador de hardware embebido de baja escala posibilidades en otro momento impensadas.

Los componentes electrónicos discretos, que ayer eran la unidad funcional mínima a considerar en un diseño, se han reemplazado hoy por módulos funcionales y placas de desarrollo, convirtiendo los procesos de diseño electrónico en procesos de integración de partes [6].

La mención a la escala es relevante, ya que se ha facilitado el acceso a funciones avanzadas de microcontroladores o módulos de DSP desde plataformas de bajo costo y amplia difusión.

La posibilidad de implementar sistemas operativos en tiempo real (RTOS), depuración sobre el producto terminado, disponibilidad de código reusable en conjunto con la disminución de los precios del hardware ha puesto a disposición de la pequeña industria el acceso a los grandes ambientes de desarrollo [7].

La integración de hardware y software COTS (Commercial off-the-shelf) o subconjuntos armados de amplia distribución y disponibles al público en general, ha resultado sumamente exitosa en dispositivos comerciales [8]. Este concepto que proviene de la defensa militar y ayudó a bajar costos operativos y optimizar tiempos de aprovisionamiento de insumos no críticos.

La integración de productos que puedan adquirirse masivamente para armar diseños y

luego consolidarlos en un prototipo comienza a popularizarse.

En el ámbito comercial, se encuentran implementaciones exitosas realizadas con estos preceptos. Desde la puesta en órbita del satélite Fossasat-1, hecho en gran parte de hardware COTS utilizando módulos LORA de bajo costo, a la integración exitosa de las impresoras 3D, tomando como caso de éxito a la empresa Prusa con más de 100.000 unidades vendidas que en sus comienzos generó modelos altamente exitosos con hardware genérico y firmware abierto.

El desarrollo de investigación en el ámbito de la integración como herramienta y la satisfacción al cliente como norte, exige la generación de experiencias de aplicación, recolección de ideas e impresiones para acordar las mejores vías de planificación, implementación y evaluación de resultados.

## 2. LÍNEAS DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

En el escenario tecnológico actual existen tendencias que muestran la necesidad de modernizar los marcos conceptuales. Desde el punto de vista académico, la enseñanza imparte las nociones técnicas que en muchos casos se ven disociadas de su aplicación práctica. Eso hace que el alumno pierda interés en incorporar conocimiento ya que no detecta que le proporcione ventajas inmediatas.

Es por eso que es necesario asociar a los conocimientos técnicos su ámbito de aplicación, expresando a su vez las razones que impulsan a recorrer caminos de superación y cambio. El marco conceptual del conocimiento, los motivos de su desarrollo, su evolución, los motores del cambio; forman parte del mismo conocimiento tecnológico ya que agregan valor y visión.

Los procesos tradicionales de desarrollo de sistemas embebidos se han mantenido sin mayores cambios desde hace décadas. Los lenguajes de programación utilizados siguen siendo, en su mayoría, los mismos desde hace tiempo (C, C++, Assembler). Aunque algunas otras opciones comiencen a ganar terreno (Java, Python), principalmente hoy se utiliza C como herramienta de programación resultando la elección más

frecuente por su alto rendimiento y amplia variedad de bibliotecas.

Las circunstancias de mercado y la expansión en la base de programadores de embebidos han forzado la reedición de una antigua comparación entre lenguajes compilados e interpretados. La performance dejó de ser el argumento principal y pasó a ser un argumento más, junto con la portabilidad, la curva de aprendizaje, la interfaz visual y la disponibilidad de bibliotecas y soporte.

Como se mencionó anteriormente la imposibilidad de innovación en cuanto a los caminos de desarrollo se ve limitada por la inclusión del hardware en el proceso de diseño. Históricamente en sistemas embebidos se desarrolló el hardware y luego el software, obligando a secuenciar los pasos y a depender de los tiempos que imponen la generación de un prototipo funcional de un sistema electrónico. Hasta hace pocos años era impensable modificar ese orden y las planificaciones lo incorporaban a sus fases de trabajo la del diseño e implementación de hardware.

Eso implicaba generar una secuencia que obligaba a seguir una sucesión de tareas como, por ejemplo: toma de requisitos, generación de especificaciones, generación de hardware, programación de software, generación de un prototipo funcional, pruebas, entrega al cliente y fase de mantenimiento.

Actualmente, con la incorporación de simuladores avanzados, la posibilidad de producir prototipos rápidamente (aun a baja escala), la aceleración de los tiempos de logística y la diversificación de proveedores son factores que impulsan a repensar los procesos, ya que está en juego el liderazgo tecnológico y la competitividad.

Existen grupos de desarrollo, conferencias anuales y numerosos trabajos de investigación que proponen la incorporación de conceptos ágiles al desarrollo de sistemas embebidos. Gran parte de las frustraciones y fracasos en esta línea de acción se debe a la voluntad de adaptar completamente los desarrollos embebidos a los métodos ágiles.

Las propuestas más conciliadoras, como por ejemplo el trabajo "Agile Development Methodology for Embedded Systems: A Platform-Based Design Approach" [9], eligen tomar y aplicar algunos principios de dos métodos ágiles (XP y Scrum) y advierte además que el proceso de

desarrollo de sistemas embebidos no es totalmente compatible con estos principios.

A pesar de esta aparente incompatibilidad, se puede articular y aplicar conceptos como reusabilidad de código, ciclos de programación iterativos, mejora de procesos y cambio de especificaciones durante el proyecto.

Desde lo académico, balancear la profundidad de los conocimientos con la diversidad que los comprende se hace indispensable. El crecimiento exponencial de los tipos de tecnologías, su complejidad y sus diversas aplicaciones obliga a replantear las bases y los objetivos del proceso de transmisión de conocimientos.

En el caso de los sistemas embebidos como unidad de conocimiento, es necesario hoy comprender sus funciones, potencialidades, aplicaciones, integraciones, protocolos de interconexión, interacción con sensores y actuadores, formas de comunicación inalámbrica, posibilidades de bajo consumo, en lugar de conocer a fondo los mapas de bits que controlan sus procesos internos.

Este salto en cuanto a unidad mínima de información se debe a la evolución y ampliación de los conocimientos que hoy son indispensables para tener una visión más amplia y completa de las etapas y partes de un proyecto tecnológico. Es necesario, sin perder concepto, subir un nivel en la capa de abstracción y priorizar el algoritmo por sobre los detalles de implementación.

Es así, que se hace mandatorio un replanteo tanto de las formas y las vías para el desarrollo de sistemas embebidos, como analizar, por ejemplo, cuáles son los conocimientos mínimos que son necesarios para tener una visión funcional de los proyectos tecnológicos que vaya más allá de lo netamente técnico.

Se utilizarán las instalaciones de la Universidad, incorporando el equipamiento adicional necesario. Se realizarán luego análisis y mediciones sobre equipos reales que oficiarán de patrones que permitan controlar la calidad del proceso y sus resultados.

El proceso de análisis desembocará en la determinación del equipamiento a producir, se comenzará una etapa de diseño mecánico que incluirá chasis, PCBs y componentes.

Una vez finalizada, se realizarán las simulaciones necesarias en software y las pruebas de rendimiento de prototipos en laboratorio.

Luego se definirán los pasos a seguir para producción del equipo a baja escala. Los fondos asignados al proyecto se destinarán a la adquisición de recursos y componentes.

El proceso entonces abarcará desde la etapa de análisis de requisitos hasta la realización física. El desarrollo se llevará a cabo con una metodología de desarrollo utilizada actualmente en situaciones de este tipo, se trata de la integración y generación de modelos mínimos que luego completarán sus funciones en ciclos de desarrollos asimilables al método Agile de producción de software.

### **3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS**

Nuevos ángulos de visión necesitan, para materializar sus resultados, la generación de procedimientos y reglas que resultarán luego en la modificación de los procesos existentes. Lo que se desea investigar es la factibilidad de llegar a resultados más eficientes a través de procedimientos que incluyan los conceptos anteriormente mencionados.

La integración de hardware y código COTS, la aplicación de nuevos entornos de desarrollo, el cambio de los conceptos rectores clásicos por otros más flexibles con la incorporación de algunas nociones que pertenecen a la metodología Agile.

Estos cambios que se proponen requerirán de formas de pensamiento diferentes. Poner al cliente, ya sea interno o externo, en el centro del interés y hacerlo formar parte del proceso de desarrollo. No pensar a nivel de bit, sino con la estrategia del armado de un rompecabezas donde cada pieza cumpla una función específica.

Esta metodología de trabajo cambia el foco y requiere re especificar muchos preceptos, por ejemplo, el concepto de requisito, calidad, satisfacción, alcance, integración, interfaz, poniéndolos al servicio de procedimientos orientados a la satisfacción continua y a la colaboración estrecha con el usuario.

Qué sucedería, por ejemplo, si se definiesen en el transcurso del desarrollo de un sistema embebido, zonas permeables a cambios de especificaciones y zonas que no permitiesen modificaciones durante el proyecto.

En lugar de analizar la función de cada componente electrónico, estudiar cómo satisfacer

un requisito o realizar una tarea con módulos que pueden adquirirse en el mercado sin necesidad de diseño electrónico profundo, poniendo énfasis en la integración.

En resumen, se propone estudiar nuevos caminos de diseño electrónico a través del aporte de la integración, las nuevas plataformas de desarrollo, las facilidades actuales para generar prototipos y producciones de baja escala, incorporando conceptos de metodologías ágiles.

El objetivo principal es generar conocimiento sobre diseño de sistemas analógico-digitales a través del desarrollo de diseño e implementación de dispositivos de aplicación específica. Se busca que las nociones obtenidas en este proceso se capitalicen en los integrantes del equipo de trabajo en nuevas visiones que amplíen y diversifiquen las alternativas de solución a problemas tecnológicos.

Los objetivos secundarios son generar procedimientos superadores que modernicen y potencien los alcances de los desarrollos de sistemas embebidos, formar recursos humanos con alta capacitación para emprender y participar del mercado de diseño electrónico y optimizar los tiempos y procesos para generar soluciones tecnológicas a problemas reales que acerquen a la Universidad como centro generador de conocimiento, a las necesidades de la industria

#### 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El equipo de trabajo de este proyecto está formado por ingenieros electrónicos y un especialista en seguridad informática. Como se mencionó anteriormente, este trabajo se desarrolló en el marco del proyecto de investigación: “Desarrollo de Dispositivos Electrónicos de Aplicación Específica a Baja Escala”.

El desarrollo del proyecto de investigación generó varias líneas de trabajo, de múltiples disciplinas. Dada la complejidad, fue necesaria la colaboración de varios expertos con amplia experiencia en la industria y la investigación académica.

Uno de los miembros del equipo de investigación se encuentra desarrollando su trabajo de tesis de posgrado de la Maestría en Informática de la UNLaM titulada: “μFramework: marco de referencia para desarrollos de sistemas

embebidos” y su tutor es el Mg. Jorge Eterovic, director del proyecto de investigación [10].

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Pedraza Suarez; Jaime Enrique Rodriguez Beltran; Edwin Alejandro. Reingeniería de firmware de controladora accesscan v. 4.0. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2287>. Bogotá, Colombia. 2020.
- [2] Amaro Calderón; Sarah Dámaris Valverde Rebaza; Jorge Carlos. Metodologías Ágiles. Trujillo, Perú. 2007.
- [3] Jean Paul Subra; Aurélien Vannieuwenhuyse. Scrum: un método ágil para sus proyectos. Ediciones ENI. ISBN 978-2-409-01292-1. Barcelona, España. 2018.
- [4] Tosini, Marcelo Alejandro; Todorovich, Elías; Vázquez, Martín Osvaldo et all. Metodologías de Diseño para Sistemas Embebidos. XV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. Universidad Autónoma de Entre Ríos. 2013.
- [5] Pablo Andrés García. Sistemas Embebidos de Tiempo Real con aplicaciones en Bioingeniería. La Plata, Argentina. 2019.
- [6] Louis Frenzel, Practical Electronic Design for Experimenters. Ed. McGraw Hill. ISBN: 978-1260456158. 2020.
- [7] Colin Walls. Embedded RTOS Design. Ed. Newnes. ISBN: 9780128228524. 2018.
- [8] Martin Tate. Off-The-Shelf IT Solutions - A practitioner's guide to selection and procurement. Ed. BCS Learning & Development Limited. ISBN: 9781780172583. 2018.
- [9]. Lucas Cordeiro; Raimundo Barreto et all. Agile Development Methodology for Embedded Systems: A Platform-Based Design Approach. 14th Annual IEEE International Conference and Workshops on the Engineering of Computer-Based Systems (ECBS'07). ISBN:0-7695-2772-8. Tucson, AZ, USA. 2007.
- [10] Fourcade A., Eterovic J., Pérez A., Rodofile G., μFramework: marco de referencia para desarrollo de sistemas embebidos; CoNaIISI 2019; RIISIC-CONFEDI-UNLaM, San Justo. 2019.