

Perspectivas y Oportunidades de la Educación en Sistemas Incrustados

Gerardo Padilla y Cuauhtémoc Lemus

Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT)
Código Postal 402, Guanajuato, Gto, 36000, México
(gpadilla, clemola)@ciamat.mx

Resumen. El área de sistemas incrustados (embedded systems) presenta un campo de oportunidad para la industria y la academia mexicana. El mercado internacional en este rubro presenta una tendencia creciente y favorable. Dicha área no ha recibido la atención requerida por parte de los programas de estudio en las universidades de México ya que no satisfacen las demandas de dicha industria. Existen esfuerzos de consorcios internacionales para la definición de un currículo (núcleo de conocimiento) en esta área. El Programa para el Desarrollo de la Industria del Software presenta un medio para el desarrollo y fortalecimiento de dicho campo en México. Este artículo presenta una panorámica general de dicho campo de oportunidad. Del mismo modo, se presenta una breve descripción de los contenidos del currículo propuesto así como algunas mejoras propuestas relacionadas con los procesos de desarrollo y calidad.

Keywords: Educación, Programa para el Desarrollo de la Industria del Software, Sistemas Incrustados, Tecnologías de Información.

1 Introducción

Los sistemas incrustados (embedded systems) constituyen un área multidisciplinaria del conocimiento. Países a la vanguardia tecnológica como Suecia, han desarrollado programas nacionales para fomentar el crecimiento de dicha industria. Un ejemplo de ello es la iniciativa en investigación en el área de sistemas en tiempo real conocida como ARTES (<http://www.artes.uu.se>). Algunos reportes emitidos por este grupo han mostrado los lineamientos y tendencias relacionadas con el futuro de la investigación en Suecia relacionada con Tecnologías de Información [1].

Un sistema incrustado se define como la automatización dada por un sistema computacional insertado en algún producto [1]. Los sistemas incrustados representan un área en crecimiento y expansión, actualmente podemos encontrar sistemas incrustados en una gama muy variada de productos: teléfonos celulares, asistentes digitales personales (PDA), automóviles, electrónica de consumo, productos de automatización industrial, etc. Esta situación representa una oportunidad de negocios para la industria mexicana y una estrategia de investigación para la academia mexicana.

Reportes de consorcios internacionales indican que la preparación proporcionada en las universidades no satisface totalmente las necesidades de la industria [1]. Las

distintas ramas de la ingeniería que se relacionan con sistemas incrustados no responden a la totalidad del conocimiento esperado por la industria (en Europa y Estados Unidos). Es por eso que existen grupos de trabajo trabajando en la definición de un cuerpo de conocimiento mínimo para el área de sistemas incrustados [2]. Dicho trabajo se encuentra en proceso y mejora.

Este artículo presenta una breve panorámica del mercado de sistemas incrustados en la sección 2. En la sección 3 se presentan los puntos principales del Plan para el Desarrollo de la Industria del Software que se refieren a la educación. En la sección 4 se presenta una breve descripción de los contenidos propuestos para el área de conocimiento designada como sistemas incrustados. En la sección 5 se proponen asignaturas de calidad, procesos y métricas a este campo de conocimiento. Finalmente se presentan las conclusiones.

2 Proyecciones a Futuro del Área de Sistemas Incrustados

El área de sistemas incrustados representa un mercado altamente cotizado por otras naciones. Se estima que el mercado mundial en este rubro asciende a los \$21 billones de dólares [3]. Aplicaciones en telecomunicaciones, computación y datacom representan un 34% del mercado mundial del mercado de SI de acuerdo a la Asociación Nacional de Compañías de Software y Servicios de la India (Nasscom). A este porcentaje le siguen electrónica de consumo (20%), automatización industrial (19%), industria automotriz (10%) y automatización de oficinas (8%). Dicho mercado potencial ha sido motivo del desarrollo de corredores industriales en Singapur [3] e India [4]. Como se presentará en las secciones siguientes, la naturaleza del dominio de conocimiento de los sistemas incrustados está cubierta por expertos dispersos en distintas áreas en México. El siguiente paso será unificar dicho dominio en programas concretos de educación coordinando esfuerzos y habilidades de dichos expertos.

3 El Programa para el Desarrollo de la Industria del Software

El Programa para el Desarrollo de la Industria de Software (PDIS) [5] es uno de los medios que el gobierno federal mexicano utiliza para definir las líneas de acción con las que llevará a la práctica las estrategias presentadas dentro del Plan Nacional de Desarrollo: "...plantea el objetivo de elevar y extender la competitividad del país, mediante la estrategia de promover el uso y aprovechamiento de la tecnología y de la información" [5].

El PDIS presenta un diagnóstico donde quedan manifestados claramente varios puntos [5]:

- La disponibilidad, en cantidad y calidad, de los recursos adecuados para el desarrollo de software depende de la capacidad de las instituciones educativas y formativas para generarlos.

- En cuanto a los planes de estudio, actualmente existe una contradicción importante entre los objetivos a corto plazo demandados por los sectores productivo y empresarial nacionales y las visiones más holísticas y de largo plazo planteadas por las instituciones educativas. Ésta contradicción requiere de soluciones estratégicas con visión de país.
- Lo dinámico de la evolución del sector en materia de software requiere de mecanismos e instancias adecuadas para incorporar rápidamente a los egresados a las actividades productivas y para actualizarlos, evaluarlos y certificarlos con la celeridad que los mercados tanto nacionales como internacionales demandan.
- No se cuenta con información suficiente para conocer los estratos ocupacionales y la segmentación laboral de los egresados en materia de desarrollo de software. De ahí que se carezca también del instrumental necesario para planificar la formación de recursos humanos que esta industria requerirá, particularmente con visión holística y estratégica de largo plazo.
- Las instancias dedicadas a capacitación requieren también modificar sus planes de estudio con el objeto de poner al día tanto los recursos humanos existentes como aquellos que en el futuro irán requiriendo actualización y/o educación permanente.

3.1 Estrategia Relacionada con la Educación

El PDIS plantea una serie de estrategias relacionadas con el desarrollo de la industria del Software. Una estrategia importante se relaciona con la educación y formación de personal competente en el desarrollo de software, en cantidad y calidad. Dicha estrategia plantea una serie de líneas de acción para llevarse a cabo, dichas líneas de acción se resumen en los siguientes rubros: planes de estudio, certificaciones de profesores y estudiantes, investigación y vinculación industrial, capacitación permanente y competitividad.

4 Sistemas Incrustados como Area de Conocimiento

El enfoque principal de los sistemas incrustados se centra en distintos dominios, tales como el automotriz, micro-mecánico, electrónica de consumo, telecomunicaciones, etc. Es importante mencionar los sistemas incrustados deben de contemplarse dentro del área denominada como tecnologías de información [1] como se considera en otros países.

4.1 Iniciativa Internacional para Definir el Área de Conocimiento de los SI

Dada la demanda de personal calificado para el área de sistemas incrustados, se han formado consorcios internacionales enfocados a la investigación, promoción y cooperación industrial-académica relacionada con los sistemas en tiempo real. Un ejemplo de ello es el consorcio ARTIST (Advanced Real-Time Systems) que forma parte de los proyectos IST (Information Society Technologies) de la Unión Europea.

Este grupo ha trabajado en la definición de guías para un currículo de postgrado en el área de sistemas incrustados [2].

De acuerdo a este grupo, dos hechos importantes justifican el trabajo realizado en la definición de dicho currículo [2]:

- La naturaleza multidisciplinaria de los sistemas incrustados que tiene muchos dominios distintos de aplicación: telecomunicaciones, industria automotriz, aeronáutica, mecánica, electrónica de consumo, etc.
- El currículo actual en computación no ha tomado siempre en cuenta la perspectiva particular de cada dominio de aplicación.

4.2 Propuesta de Área de Conocimiento (ARTIST)

En su documento “Guidelines for a Graduate Curriculum on Embedded Software and Systems – Draft Version 6”, el consorcio propone un conjunto de áreas de conocimiento (cuerpos de conocimiento). Las áreas de conocimiento verticales propuestas son: *computación e ingeniería, procesamiento de señales y control básico, teoría de la computación, tiempo real, sistemas distribuidos y optimización-evaluación*. Del mismo modo se propone un área transversal a las anteriores: *Ingeniería y arquitectura de sistemas*.

Este documento [2] presenta para cada cuerpo de conocimiento una serie de elementos importantes, tales como la motivación que origina la inclusión de dicha área, los antecedentes académicos que deben tener para poder introducirse a dicho cuerpo de conocimiento, el contenido, aspectos relacionados con la enseñanza, la práctica y documentos relacionados. En algunos casos hacen referencia a cursos actuales de alguna universidad.

Computación e Ingeniería

Dentro de este punto se contemplan habilidades que se consideran de propósito general. Dichas habilidades se centran en: i) algoritmos básicos, lenguajes de programación imperativos, ii) nociones básicas de compuertas lógicas, circuitos combinatorios y secuenciales, arquitectura de procesadores, dispositivos de entrada/salida, interrupciones, buses, programación en ensamblador, iii) elementos de teoría de lenguajes (autómatas, gramáticas, expresiones regulares), iv) implementación de lenguajes de programación (analizadores léxicos, sintácticos, generación de código, optimización), v) fundamentos de sistemas operativos, programación distribuida y concurrente, y vi) modelado de software, análisis y diseño (ciclo de vida, prueba de software, herramientas, etc.).

Procesamiento de señales y control básico

Dentro de este punto se contemplan habilidades centradas en: i) nociones de modelado físico de señales y sistemas, así como nociones de transformadas de Fourier y Laplace, ii) nociones de retroalimentación y control continuo, iii) muestreo y control basado en muestras, iv) control de eventos discretos y v) algunos aspectos de la teoría de control híbrida.

Teoría de la computación

Dentro de este punto se contemplan habilidades centradas en: i) semántica de los lenguajes de programación (semántica denotacional, axiomática y operacional), ii) semántica de sistemas concurrentes (autómata temporizado, protocolos criptográficos).

Tiempo real

Dentro de este punto se contemplan habilidades centradas en: i) Nociones entre sistemas duros (hard) y blandos (soft) de tiempo real, ii) paradigma síncrono, iii) paradigma asíncrono, iv) técnicas de compilación enfocadas a tiempo real, v) diseño de tiempo real basado en componentes.

Sistemas distribuidos

Dentro de este punto se contemplan habilidades centradas en: i) diseño de algoritmos distribuidos, ii) protocolos iii) validación y verificación de sistemas distribuidos.

Optimización y evaluación

Dentro de este punto se contemplan habilidades centradas en la evaluación y optimización de propiedades no funcionales del sistema incrustado, relacionadas con el consumo de energía, ganancia, calidad del servicio, tiempo de ejecución, dependencia, etc.

Ingeniería y arquitectura de sistemas

Dentro de este punto se contemplan habilidades centradas en el dominio de aplicación en particular. Para algunos casos se presentan ejemplos, uno de ellos pudiera ser UML-RT (Metodología UML para diseño de sistemas en tiempo Real), otro ejemplo el enfoque de desarrollo basado en componentes.

En este punto se trató de dar un margen para la inclusión de otros temas, sin embargo creemos que debe de trabajarse más en el siguiente elemento: Arquitecturas de sistemas (como proceso y producto).

5 Mejoras Propuestas

El currículo propuesto por el ARTIST representa un gran avance dado que se origina en grupos de trabajo industriales-académicos. Así mismo, creemos que hay elementos, importantes como calidad del producto y calidad del proceso, que deben de incluirse dentro de dicho currículo dado que son elementos fundamentales requeridos actualmente por la industria de software nacional e internacional.

5.1 Cuerpo de conocimiento adicional: Calidad y Procesos

Las certificaciones y evaluaciones de empresas constituyen una tendencia actual para mejorar la calidad de los productos que tienen partes de software (o su totalidad). La mayoría de las certificaciones para empresas de desarrollo de software se centran en la

evaluación de la madurez y capacidad de sus procesos [6]. El dominio de los sistemas incrustados no escapa de esta tendencia, es por eso, que proponemos incluir un cuerpo de conocimiento donde se incluya el desarrollo de habilidades centradas en: i) definición e interpretación de procesos, ii) técnicas personales y de equipo de desarrollo (PSP, TSP, por ejemplo), iii) nociones de métricas asociadas al proceso y al producto a desarrollar, y iv) nociones sobre las técnicas y filosofías de calidad aplicadas en los dominios particulares.

4 Conclusiones

En este artículo se ha presentado el área de oportunidad de los sistemas incrustados para la academia y la industria mexicana. Dicha área presenta contenidos multidisciplinarios que contrastan con los programas de estudio actuales en las distintas áreas relacionadas con las tecnologías de información. Consorcios internacionales han detectado estas necesidades y proponen un currículo específico para satisfacer la demanda de profesionistas en esta área. Hemos propuesto algunas mejoras a este currículo con el fin de fortalecer el cuerpo de conocimiento propuesto, tomando en cuenta aspectos de calidad del producto y del proceso de desarrollo. Esto tiene su justificación dada la tendencia mundial a obtener certificaciones de calidad en las empresas de desarrollo y dichas certificaciones tienen su base en la evaluación de los procesos de la empresa. El PDIS presenta un área de oportunidad para fortalecer y desarrollar el área que presenta un creciente mercado a escala mundial. Los dos elementos antes presentados, el PDIS y la oportunidad de mercado en los sistemas incrustados constituyen los ingredientes esenciales para la formación de nuevas industrias en el país y de nuevos grupos de investigación que tengan una vinculación directa con dichas empresas.

Referencias

- [1] ARTES, Embedded Systems and the Future of Swedish IT-Research, 2000. Disponible en <http://www.artes.uu.se>.
- [2] Advanced Real-Time System Consortium (ARTIST), Guidelines for Graduate Curriculum on Embedded Software and Systems, 2003. Sixth Draft. Disponible en <http://www.systemes-critiques.org/ARTIST/>.
- [3] Krishnadas, K.C., India Seeks Global Role In Embedded Software, Electronic Engineering Times, April 2003. Disponible en <http://www.eetasia.com>.
- [4] Fung, M., A Spotlight On The Embedded Software industry, Mirus' E-Newsletter, 2001. Disponible en http://www.imakenews.com/rcwmirus/e_article000029606.cfm.
- [5] Secretaría de Economía, Programa para el Desarrollo de la Industria de Software, 2001. Disponible en <http://www.economia.gob.mx/?P=1128>
- [6] Wang, Y. and King, G. *Software Engineering Processes: Principles and Applications*. CRC Press, 2000.