

# A Constructivist Approach for Teaching Embedded Systems

L. Ordínez, *Member*, IEEE and O. Alimenti, *Member*, IEEE

**Abstract**— Due to the technological breakthrough of recent years, electronic devices have become an important part of everyday life. Most of these devices falls within the class of systems called embedded systems. This article presents a proposal for a course on embedded systems. The proposal is based on a constructivist approach to teaching, with particular emphasis on problem-based learning.

**Keywords**— Constructivism, PBL, embedded systems.

## I. MOTIVACIÓN

HOY en día, la vida de cualquier persona está influenciada y, en algunos casos, condicionada por una gran diversidad de dispositivos electrónicos. Estos dispositivos permiten comunicarse, obtener energía, detectar y curar enfermedades, posibilitan el funcionamiento de vehículos, de electrodomésticos, de plantas industriales e incluso de satélites. En general, esta clase de sistemas son denominados Sistemas Embebidos (SE). Aunque no hay una única definición de SE, la mayoría de los autores, con sutiles diferencias, concuerdan que es un sistema desarrollado para uno o varios propósitos específicos, que forma parte de un sistema más grande, que interactúa fuertemente con el entorno físico mediante sensores y actuadores y que generalmente opera en forma autónoma, sin intervención de personas [1] y [2]. Asimismo, sobre estos sistemas recae una restricción muy fuerte que no se suele encontrar en otro tipo de sistema computacional: la inclusión del tiempo como un requerimiento más dentro del mismo.

Como se mencionó previamente, los sistemas embebidos generalmente están fuertemente ligados al mundo físico. Su dominio de aplicación puede encontrarse en sistemas de control, procesos químicos, automóviles, monitoreo de eventos ambientales y meteorológicos, entre otros. Estas aplicaciones tan diversas comparten una estructura de funcionamiento básica que es la toma de información del mundo físico, su procesamiento y la consecuente realización de acciones que lleven al sistema a un punto deseado.

El diseño de sistemas embebidos todavía sufre graves problemas en su descripción. En particular, los sistemas embebidos son un campo de la computación que involucra mayormente tres disciplinas disociadas: la teoría de control, que trata los requerimientos no funcionales impuestos por el ambiente físico; la ingeniería electrónica, que involucra el

manejo de todo el hardware asociado al sistema y la ingeniería de software, que trata los requerimientos funcionales dados por la aplicación específica.

### A. Por qué un Curso sobre Sistemas Embebidos

La motivación de proponer un curso sobre SE radica principalmente en la amplia utilización de los mismos en la vida cotidiana, lo cual ha marcado fuertemente un desarrollo masivo de éstos. Los avances en el campo de la electrónica, la tecnología de los materiales y la miniaturización de componentes permiten actualmente contar con una enorme cantidad y diversidad de dispositivos que hasta hace unos años eran impensados. A raíz de esto, es cada vez mayor la demanda, en el mercado laboral, de profesionales con una sólida formación en esta disciplina específica. Esta demanda, bajo la formación tradicional de un ingeniero electrónico o en computación, solo es resuelta parcialmente, ya que se necesitan conocimientos específicos de esta área que no son cubiertos por cursos tradicionales de ingeniería de software, teoría de control o microprocesadores, entre otros comunes a dichos planes de estudio. Más aún, los conocimientos impartidos en dichos cursos son necesarios para la completa comprensión del propuesto; sin embargo, es necesario darles un enfoque diferente para llevarlos al campo de los SE. Por otro lado, la construcción de sistemas embebidos se presenta como una alternativa de desarrollo regional muy interesante para Latinoamérica [10].

### B. Objetivos

El presente artículo expone los lineamientos básicos de un curso de Sistemas Embebidos. Como se explicará a lo largo del artículo, dicho curso debe ser inherentemente práctico y con una activa participación de los alumnos en la elaboración del conocimiento. Por esto, en la propuesta, se toman como base pedagógica dos alternativas constructivistas, que se adaptan perfectamente a las necesidades del curso: los *Entornos de Aprendizaje Constructivista* y el *Aprendizaje Basado en Problemas*.

## II. BASE PEDAGÓGICA

Como surge de la Introducción de este trabajo, un curso de Sistemas Embebidos involucra conceptos y tópicos que sólo se pueden desarrollar de manera correcta mediante una fuerte acción práctica. En este sentido, la tarea del docente se vuelve la de un tutor que guía el aprendizaje, estimula y orienta los próximos pasos. Sin embargo, la construcción del conocimiento debe ser propia del alumno, quien se involucrará activamente en su enseñanza, gracias a un entorno que lo

L. Ordínez, Universidad Nacional Del Sur – CONICET, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina, lordinez@uns.edu.ar

O. Alimenti, Universidad Nacional Del Sur, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina, iealimen@criba.edu.ar

motivará a hacerlo [3]. Lo anterior lleva naturalmente a pensar en un enfoque constructivista para abordar el proceso de enseñanza de sistemas embebidos.

Entre los diversos modelos constructivistas que se pueden encontrar en la literatura, se eligió el propuesto por Jonassen, denominado Entornos de Aprendizaje Constructivista (EAC) [4]. En particular, este modelo se centra en el abordaje de un problema o proyecto, siendo, el alumno, el encargado de resolver el problema o llevar a cabo el proyecto. De este modo, se invierte, de alguna manera, la relación de *toma* del conocimiento y su posterior aplicación como prueba de comprensión. De hecho, el problema o proyecto determina los contenidos del área de estudio necesarios para cumplir la tarea. Asimismo, la adecuada elección del proyecto, no sólo por la amplitud y pertinencia de los conceptos que involucra, sino por su atractivo como motivador, hace que el alumno se comprometa en gran manera en su enseñanza.

#### A. Características de los EAC

La concepción constructivista del aprendizaje establece que el conocimiento es elaborado individual y socialmente por los alumnos, basándose en las interpretaciones de sus experiencias en el mundo. Puesto que el conocimiento no puede transmitirse, la enseñanza debería consistir en experiencias que faciliten la elaboración del conocimiento.

El modelo, para el diseño de Entornos de Aprendizaje Constructivista (EAC), concibe un problema, una pregunta o un proyecto como centro del entorno, con varios sistemas de interpretación y de apoyo intelectual a su alrededor. El objetivo de un alumno es interpretar y resolver el problema o finalizar el proyecto.

El punto central de todos los EAC es la pregunta o el tema, el ejemplo, el problema o el proyecto que los alumnos intentan solucionar y resolver. Esto es, los problemas dirigen el aprendizaje. Los alumnos aprenden el contenido del ámbito de estudio para resolver el problema, en lugar de solucionarlo como si fuera una aplicación del aprendizaje. Este aprendizaje basado en cuestiones o temas comienza con una pregunta cuyas respuestas son indefinidas o controvertidas.

Dado que la clave de un aprendizaje significativo implica considerar el problema o el objetivo de aprendizaje como algo propio, es necesario proporcionar problemas interesantes, pertinentes y atractivos de resolver. El problema no debería estar excesivamente constreñido; por el contrario, debe estar definido o estructurado de forma insuficiente, de manera que algunos aspectos del problema resulten inesperados y puedan ser definidos por los alumnos. La razón de este comportamiento es que, cuando el problema no se considera como algo propio, los alumnos están menos motivados a la hora de solucionarlo o de resolverlo. Este tipo de problemas se denominan problemas mal estructurados y tienen las siguientes características:

- Tienen objetivos y limitaciones que no están formulados.
- Poseen múltiples soluciones, líneas de soluciones o ninguna solución.
- Poseen múltiples criterios para evaluar las soluciones.

- Presentan incertidumbres a la hora de aclarar cuáles son los conceptos, las reglas y los principios necesarios para una solución dada o cómo están éstos organizados.
- No ofrecen reglas o principios generales para describir o predecir el resultado de la mayoría de los casos.
- Necesitan que los alumnos establezcan juicios sobre el problema y los defiendan expresando sus opiniones o sus creencias personales.

En estos problemas mal estructurados, el objetivo consiste en aprender sobre este ámbito de estudio pensando como un miembro más de esa comunidad profesional. De lo anterior surge que los problemas deben ser reales para poder comprometer, en su resolución, a los alumnos. Otro aspecto necesario en los problemas mal estructurados es que tienen que manipular algo (elaborar un producto, manipular parámetros, tomar decisiones) e influir de alguna forma en el entorno.

Las siguientes constituyen las principales herramientas ofrecidas por los EAC:

*Ejemplos de Aplicación:* los alumnos principiantes carecen fundamentalmente de experiencia y esta carencia es especialmente significativa cuando intentan resolver problemas. Por lo tanto, resulta importante que el EAC permita el acceso a un conjunto de experiencias relacionadas que los alumnos con poca experiencia puedan consultar. El objetivo fundamental a la hora de describir los razonamientos relacionados es ayudar a los alumnos a comprender las cuestiones implícitas en la representación del problema. Los ejemplos relacionados en los EAC ayudan al aprendizaje al menos de dos maneras: reforzando la memoria del alumno y aumentando la flexibilidad cognitiva.

*Fuentes de Información:* cuando se diseña un EAC, se debería determinar que tipo de información va a necesitar el alumno para comprender el problema. Puesto que los alumnos no poseen una formación tan sofisticada como para evaluar la calidad y filtrar la información suministrada, se debería comprobar la relevancia y la organización del acceso inmediato a las fuentes de información incluidas o vinculadas a un EAC, de manera que contribuyeran a respaldar el tipo de reflexión que se quiere que realicen los alumnos.

*Herramientas de Comunicación y Colaboración:* para poder fomentar la colaboración dentro de un grupo de alumnos, los EAC deberían proporcionar y fomentar los debates sobre los problemas y proyectos en los que están trabajando.

Los EAC deberían apoyar la cooperación dentro de un grupo de participantes, compartir la toma de decisiones acerca de cómo manipular el entorno, las interpretaciones alternativas sobre los diferentes temas y problemas, la articulación de las ideas de los alumnos y la reflexión sobre los procesos que han utilizado.

*Tutorías:* los alumnos mejorarán probablemente sus representaciones mediante una tutoría (coaching). El papel de la tutoría es complejo e inexacto. Un buen tutor motiva a los alumnos analizando sus representaciones, dando respuestas (feedbacks) y consejos sobre las representaciones y sobre

cómo aprender a realizarlas, así como estimulando la reflexión y articulación sobre los aprendidos.

*Refuerzo:* el refuerzo representa algún tipo de manipulación del propio ejercicio por parte del sistema. Cuando se refuerza la representación, el sistema realiza parte de la tarea del alumno, suplanta la capacidad de éste para llevar a cabo parte del ejercicio, transformando su naturaleza o imponiendo el uso de las herramientas cognitivas que ayuden a su representación, o adaptan la naturaleza o la dificultad del ejercicio.

Para finalizar, es importante subrayar que este modelo tiene como objetivo proporcionar orientaciones para el diseño de entornos educativos y para respaldar el aprendizaje constructivista. El aprendizaje constructivista hace hincapié en la elaboración del significado de carácter personal y, por lo tanto, intenta relacionar adrede ideas nuevas con experiencias y aprendizajes anteriores. El aprendizaje constructivista, por lo tanto, compromete el pensamiento conceptual y estratégico al contrario que el aprendizaje reproductor. Los EAC no son adecuados para cualquier tipo de resultados. Si se desea diseñar entornos de aprendizaje que involucren a los alumnos en la elaboración de conocimientos individuales y/o colectivos y en la resolución de problemas, entonces puede tenerse en cuenta el diseño de EAC.

#### B. Aprendizaje Basado en Problemas

El camino que toma el proceso de aprendizaje convencional se invierte al trabajar en el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) [5] y [6]. Mientras tradicionalmente primero se expone la información y posteriormente se busca su aplicación en la resolución de un problema, en el caso del ABP primero se presenta el problema, se identifican las necesidades de aprendizaje, se busca la información necesaria y finalmente se regresa al problema.

Los problemas tienen dos características. Primero, un problema es una incógnita, y segundo, existe un valor en resolver esa incógnita. De esto surge que el ABP es cualquier enfoque pedagógico que requiere que los estudiantes resuelvan una incógnita. Más específicamente, el ABP requiere que los estudiantes sean activos. Se ha comprobado que los estudiantes que están activamente comprometidos en el proceso educativo realizan una conexión sustancial con el contenido del curso. Otra característica del ABP es que promueve la colaboración. En este sentido, los estudiantes usualmente comprenden mejor el material del curso cuando interactúan con y aprenden de otros pares. Por su parte, los profesores deben fomentar el ABP en los estudiantes, ya que ignorar las habilidades para resolver problemas significa socavar la responsabilidad de la Universidad en el desarrollo de individuos educados. Más aún, el aprendizaje en el mundo real es producto de la resolución de problemas. Esa resolución de problemas no ocurre a través de procesos memorísticos o de imitación; sino que surge de procesos en los que se definen y analizan cuidadosamente los problemas que existen en la organización para la cual se trabaja [7] y [8].

A continuación se describen algunas características del

ABP:

- Es un método de trabajo activo, donde los alumnos participan constantemente en la adquisición de su conocimiento.
- El método se orienta a la solución de problemas que son seleccionados o diseñados para lograr el aprendizaje de ciertos objetivos de conocimiento.
- El aprendizaje se centra en el alumno y no en el profesor o solo en los contenidos.
- Es un método que estimula el trabajo colaborativo en diferentes disciplinas, se trabaja en grupos pequeños.
- Los cursos con este modelo de trabajo se abren a diferentes disciplinas del conocimiento.
- El maestro se convierte en un facilitador o tutor del aprendizaje.

En el mismo sentido, los problemas en el ABP deberían tener las siguientes características:

- Ser abiertos y mal estructurados, pero con un leve grado de estructuración.
- Ser lo suficientemente complejos como para desafiar y motivar a los estudiantes, aceptar diferentes perspectivas para resolverlos y adaptarse a los conocimientos previos de los estudiantes.
- Ser reales en el sentido de representar situaciones análogas a las que enfrentaría un profesional en su desempeño laboral.

La siguiente es una clasificación de problemas factibles de ser empleados en el ABP.

*Problemas de diagnóstico-solución:* estos problemas usualmente comienzan con síntomas de un sistema enfermo o con fallas. Este tipo de problemas también se caracteriza por tener una meta clara y definida. En el caso de sistemas embebidos, por ejemplo, se presentarían ante una falla en el sistema.

*Problemas de toma de decisiones:* los problemas de toma de decisiones requieren la selección de una alternativa entre varias que compiten entre sí. Los problemas de diagnóstico se enfocan en identificar la causa del problema, mientras que los de decisión se concentran más en identificar la solución más viable bajo las circunstancias en que el problema sucede. Un ejemplo, dentro del área de los sistemas embebidos, donde ocurre un problema de decisión es la situación en la que se requiere elegir, entre una serie de alternativas, los componentes de hardware o el entorno de desarrollo de software para una aplicación.

*Problemas de casos específicos y de políticas:* estas clases de problemas son típicamente complejos y representan situaciones multifacéticas. Lo que los vuelve difíciles de resolver, de hecho, es que no siempre está claro cuál es el problema. En general, el estado inicial del problema es vago, lo cual lleva a que definir el espacio del problema sea una tarea ambigua.

La diferencia entre los problemas de casos específicos y los de diagnóstico y decisión radica en que los primeros pueden tener una estructura de razonamiento y una solución ya probada, mientras que los otros no. En cuanto a los problemas de políticas, su propósito es crear un conjunto de reglas que

regulen situaciones en las que varias partes tengan intereses en conflicto. A modo de ejemplo de estas clases de problemas, en los sistemas embebidos, se puede presentar el caso donde un conjunto de tareas (que conforma el software del sistema) tiene fuertes restricciones temporales.

*Problemas de diseño:* esta clase de problemas son los más complejos y mal estructurados de todos los problemas y son el tipo más común al que se enfrentan los ingenieros. Poseen todos los atributos de los problemas mal estructurados, tales como objetivos difusos, soluciones múltiples, estructuras de razonamiento diversas y restricciones no especificadas.

### III. PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA

En base a los enfoques pedagógicos repasados anteriormente, y que serán el sustento sobre el que se apoye esta propuesta de un curso de sistemas embebidos, en esta sección, se mostrará en detalle la programación didáctica de dicho curso.

Los enfoques mencionados se ajustan a las necesidades que presenta un curso de sistemas embebidos. En base a un análisis de empleos ofrecidos en dicha área, otros cursos dictados ya sea por universidades o empresas privadas y a experiencias recogidas de profesionales que se desempeñan en la temática, resulta que es imperioso que el curso involucre una fuerte carga de aplicación práctica, de trabajo concreto en el desarrollo de sistemas embebidos. Más aún, ese trabajo debe ser sobre aplicaciones lo más cercanas a la realidad posible. Estas características determinan la necesidad de contar con una base pedagógica como la planteada, donde sean los alumnos los principales actores del proceso educativo, donde se dirija el aprendizaje hacia la resolución de problemas reales y se dé un proceso de trabajo sinérgico de enseñanza-aprendizaje-trabajo profesional.

Sin embargo, existen algunas dificultades para aplicar los enfoques constructivistas analizados. La principal está relacionada con los hábitos adquiridos por los alumnos y que van contra los propuestos por el ABP. En general, los alumnos no están acostumbrados a este tipo de forma de enseñanza y surge una resistencia natural al nuevo enfoque. Esta dificultad en la aplicación de los enfoques constructivistas es clara y normal; y el docente, de no estar atento a su aparición, puede llevar al curso a un fracaso. Para superarla y a fin de no introducir estos enfoques en forma peligrosamente abrupta, el curso de sistemas embebidos propuesto incluirá también algunas herramientas y actividades a las que los alumnos están ya habituados, como son: clases expositivas, prácticas de ejercicios y problemas, y evaluaciones sobre dichas prácticas. Otra alternativa a incluir para superar esta dificultad con el ABP es hacerles saber a los alumnos qué se espera de ellos, qué les ofrecerá el docente y cuáles son las características deseadas subyacentes en un curso basado en ABP.

Por otro lado, es importante enmarcar los potenciales destinatarios del curso. En este sentido, la presente propuesta se centra en alumnos de las carreras de Ing. Electrónica, Ing. en Sistemas o afines, con un grado de avance importante. Esto es, cursando el último año de su carrera. Este planteo es

necesario, ya que la problemática de los sistemas embebidos involucra conocimientos de varias áreas afines a la electrónica, al software, a los sistemas de control y a las comunicaciones.

Antes de hacer un desglose del curso, en forma sintética, se puede decir que el éste girará en torno al desarrollo de un proyecto integrador. Este proyecto consistirá en la implementación de un sistema embebido particular, el cual será seleccionado por los alumnos, entre varias alternativas ofrecidas por el docente. Cada grupo de alumnos (de dos o tres integrantes) tendrá asignada la tarea de llevar a cabo un proyecto de desarrollo distinto. El curso involucrará las principales etapas del desarrollo del proyecto, junto con los temas (conocimientos) necesarios para la realización de las mismas. La propuesta es que los alumnos se desempeñen en una situación similar a la del trabajo profesional, donde los nuevos conocimientos surjan de la misma necesidad que impone llevar adelante el proyecto. Para esto es necesaria una cuidadosa elección de las alternativas ofrecidas por parte del docente, ya que estas deben involucrar todos los temas a estudiar en el curso. Este enfoque no sólo tiene las ventajas ya mencionadas de los EAC y el ABP, sino que permite hacer una evaluación del aprendizaje desde diferentes ángulos y en variadas circunstancias. En este sentido, como se enuncia en [8], el contenido de los objetivos del curso es incorporado en el diseño de los problemas, conectando el conocimiento anterior a nuevos conceptos y ligando nuevos conocimientos a conceptos de otros cursos o disciplinas.

#### A. Eje Temático

El curso propuesto se centrará en el desarrollo de sistemas embebidos. Esto incluye las diferentes etapas presentes en un proceso de ingeniería, desde el análisis de requerimientos y la elaboración del proyecto, pasando por la estimación de costos y el diseño, hasta llegar a la implementación final de la solución al problema planteado.

#### B. Contenidos

Como se explicó anteriormente, el curso propuesto gira en torno al desarrollo de un proyecto sobre sistemas embebidos. En base a esto, los contenidos del curso se estructuran de acuerdo a los conocimientos y cuestiones a abordar, para la concreción del proyecto. A continuación, se enumeran esas problemáticas.

1. ¿Cómo se elabora un proyecto de desarrollo? ¿Qué características tiene? ¿Cómo se elabora un presupuesto? ¿Qué se cotiza?
2. ¿Cómo se determina qué debe hacer el sistema embebido? ¿De qué forma interactúa el sistema con el mundo físico? ¿Qué hardware se necesita? ¿Qué debe hacer el software?
3. ¿El problema incluye restricciones de tiempo? ¿Qué características tienen? ¿Cómo se tratan a esas restricciones?
4. ¿Es necesario programar *todo* el software, incluso el de más bajo nivel? ¿El problema se puede plantear

como entidades de ejecución concurrentes? ¿Esas entidades colaboran entre sí? ¿Comparten recursos? ¿Tienen restricciones temporales?

5. ¿Cómo se estructura el software de un sistema embebido? ¿Hay metodologías de diseño específicas? ¿Qué aseguran esas metodologías? ¿Qué herramientas se pueden utilizar para diseñar software para sistemas embebidos?
6. ¿Cuál es el *cerebro* de un sistema embebido? ¿Hay diferentes tipos? ¿Qué características tienen?
7. ¿Que características tiene la electrónica involucrada en un sistema embebido? ¿Qué cuidados hay que tener en cuenta? ¿Cómo se tratan los diferentes tipos de corrientes y tensiones? ¿Qué herramientas de modelado y simulación se utilizan?
8. ¿Qué elementos se utilizan para interactuar con mundo físico? ¿Qué tipos de dispositivos existen? ¿Qué criterios se tienen en cuenta al momento de elegir uno u otro? ¿Cuáles son las magnitudes físicas más comunes que se pueden *observar*? ¿Sobre cuáles *influir*?
9. ¿Mediante qué formas se puede comunicar un sistema embebido con otro o con un dispositivo externo? ¿Qué características, ventajas y desventajas tiene cada una?
10. ¿Cuáles son las leyes físicas que gobiernan el proceso del mundo real sobre el que influye el sistema embebido? ¿Cómo se relacionan las magnitudes físicas involucradas?
11. ¿Cómo se implementa el software para un sistema embebido? ¿Qué herramientas se necesitan? ¿Qué lenguaje se utiliza? ¿Cómo se pasa del diseño a la implementación?
12. ¿Qué características tiene un informe técnico? ¿Y una monografía? ¿Qué se debe incluir en una presentación?

En base a las cuestiones anteriores, a continuación se enumeran los contenidos del curso correspondientes.

1. Elaboración de Proyectos y Presupuestos
2. Ingeniería de Requerimientos: Captura, Análisis y Especificación
3. Conceptos de Sistemas de Tiempo Real
4. Sistemas Operativos de Tiempo Real
5. Modelado y Diseño de Software
6. Arquitecturas de Hardware
7. Conceptos de Electrónica
8. Sensores y Actuadores
9. Sistemas de Comunicación
10. Tópicos de Control
11. Programación de Sistemas Embebidos
12. Elaboración de Informes, Monografías y Presentaciones

#### C. Estrategias de Enseñanza

1. Práctica de problemas, no de ejercicios (incluyen problemas opcionales)
2. Estudio de casos y análisis de artículos científicos
3. Debates
4. Clases magistrales
5. Formulación de problemas por parte de los alumnos

6. Elaboración de proyectos
7. Escritura de informes
8. Preguntas de aplicación de pensamiento analógico
9. Construcción de apuntes de clase

#### D. Temporización

El presente curso de sistemas embebidos se propone que tenga una duración de un cuatrimestre (16 semanas), con una carga semanal de ocho horas reloj, divididas en dos módulos de cuatro horas.

#### E. Recursos y Materiales Didácticos

El ambiente de trabajo (laboratorio) y los recursos a utilizar en el curso, son similares e incluso los mismos, con los que el alumno se encontrará en el desempeño profesional. Esto incluye computadoras personales con software específico para el diseño y desarrollo de sistemas embebidos, instrumentos de medición de alta precisión, dispositivos de hardware comunes en un sistema embebido (microcontroladores, memorias Flash, placas de desarrollo, circuitos integrados de diferentes propósitos, etc.), mesas de trabajo, estaciones para soldado de componentes, entre otros. A esto se le agregan algunos elementos comunes a la enseñanza: pizarra, libros, proyector de transparencias, posters, fotografías, etc.

#### F. Estrategias para el Manejo de la Heterogeneidad

Estas estrategias se refieren a aquellas situaciones donde uno o varios alumnos o bien presentan dificultades marcadas en el proceso de aprendizaje, o demuestran una facilidad superior en dicho proceso. En ambos casos es necesario que el docente esté atento, ya que, en cualquiera de ellos, se corre el riesgo de que el alumno se vea desmotivado y, por consiguiente, pierda el interés en el curso.

En aquellos casos en los que se presentan dificultades de aprendizaje, la función del tutor se volverá más cercana, apelando a ejemplos, casos resueltos, diferentes enfoques y analogías.

En cambio, en los que se presenta una facilidad marcada para cumplir con las tareas, se propondrán problemas adicionales (opcionales) y ampliaciones de los requerimientos y características del proyecto a desarrollar.

## IV. ESTRATEGIAS DE EVALUACIÓN

En los enfoques constructivistas, que sirven de base al curso propuesto, la evaluación se toma como un proceso continuo. Este proceso fomenta críticamente la construcción del conocimiento y debe ser útil tanto al docente-tutor como al alumno. Para el primero, como una herramienta de retroalimentación, que le sirva para realizar los ajustes necesarios al plan de trabajo. Mientras que para el segundo, como una forma de ponderar los conocimientos adquiridos y de ayudar en la construcción de un pensamiento autocrítico. En este sentido, no es importante que la evaluación tenga un carácter valorativo en cuanto a su aprobación o desaprobación; sino que como una descripción, donde se identifiquen las áreas a reforzar [9]. Así, este tipo de estrategias evalúan la calidad del aprendizaje, el desempeño

del alumno y son obviamente subjetivas. Esta última característica marca el espíritu de las evaluaciones, el cual no es calificar sino identificar falencias y dar la posibilidad de corregirlas. A continuación se enumeran diferentes técnicas de evaluación (tradicionales y alternativas) aplicables al curso.

*Examen escrito:* se propone un examen escrito a libro abierto o cerrado, por cada uno de los contenidos. La elección de si el examen es a libro abierto o cerrado, dependerá de la factibilidad de poder hacerlo, dependiendo del tema. En cualquier caso, las preguntas se diseñarán con el propósito de evaluar habilidades involucradas en la resolución de problemas y no en aprendizaje memorístico.

*Examen práctico:* se refiere a evaluar el desempeño en las diferentes actividades prácticas necesarias para llevar a cabo el proyecto sobre el que gira el curso.

*Evaluación del compañero:* este tipo de evaluación será guiada por el tutor, quien presentará una serie de categorías a evaluar a cada integrante del grupo y ellos se evaluarán entre sí.

*Autoevaluación:* al igual que la técnica anterior, el tutor presentará una serie de categorías y el alumno será quien se evalúe a sí mismo.

*Evaluación del tutor:* esta técnica comparte también la característica de las anteriores, en cuanto a la elaboración de las categorías, pero en referencia a la tarea desempeñada por el tutor. Asimismo, incluirá la posibilidad de agregar categorías y hacer comentarios que no cuadren en ninguna de ellas.

*Construcción de portafolios:* el portafolio es una colección de los trabajos realizados por los alumnos. Como el eje central del curso es la implementación de un proyecto, esta herramienta surge como natural para llevar cuenta de los trabajos realizados, es decir, las diferentes partes que componen el proyecto. La presentación del portafolio se realizará al final del curso, junto con el proyecto implementado.

*Informes escritos:* esta herramienta de evaluación se relaciona con la anterior en cuanto que será entregada al finalizar el proyecto. El informe será una descripción de la tarea realizada desde el punto de vista de un profesional.

*Presentaciones y Entrevistas con expertos:* cada grupo expone su trabajo y los otros grupos lo evalúan en base a ciertas categorías predeterminadas. Además, esos grupos preguntan sobre la exposición y los del grupo presentador evalúan la calidad de esas preguntas.

*Desarrollo de proyectos:* este es el eje central del curso, por lo que servirá de guía para una evaluación integral del alumno. Aunque la propuesta del curso será hecha considerando los proyectos propuestos como factibles de realizar, es probable que no se llegue a una concreción total. En este caso, se evaluará el grado de avance de cada caso particular en base a las competencias del curso.

*Elaboración de pósters:* éstos representan una herramienta visual de síntesis del conocimiento muy útil para el alumno. Ésta será utilizada como forma de resumir el trabajo realizado de una manera atractiva, adecuada para la presentación de un

producto final en el ámbito de una organización.

## V. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó una propuesta para la planificación de un curso de sistemas embebidos. Las necesidades del mercado laboral y los adelantos tecnológicos de los últimos tiempos, han determinado un fuerte grado de avance en esta disciplina. Por este motivo, son cada vez mayores las demandas de profesionales altamente capacitados específicamente en el desarrollo de sistemas embebidos.

El curso propuesto se basa en dos enfoques constructivistas complementarios: los Entornos de Aprendizaje Constructivista y el Aprendizaje Basado en Problemas. Estos enfoques centran el proceso educativo en el alumno, quien será el principal responsable de su aprendizaje. Además, fomentan el desarrollo de habilidades prácticas en la resolución de problemas, el razonamiento crítico y el trabajo grupal en situaciones semejantes a las de un profesional. Para sacar el mayor provecho posible de estas técnicas, el curso propuesto se decidió centrarlo alrededor del desarrollo de un proyecto. Así, los contenidos están estructurados de forma tal que se corresponden con las diferentes etapas involucradas en un trabajo ingenieril.

## REFERENCIAS

- [1] E. A. Lee and S. A. Seshia, *Introduction to Embedded Systems – A Cyber-Physical Systems Approach*, 1st ed. Lee and Seshia, 2010, <http://leeseshia.org/>.
- [2] M. J. Pont, *Patterns for time-triggered embedded systems: building reliable applications with the 8051 family of microcontrollers*. New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 2001.
- [3] R. Mayer, *Diseño de la Instrucción. Teorías y Modelos*. Madrid, España: Santillana, 2000, ch. Diseño Educativo para un Aprendizaje Constructivista.
- [4] D. Jonassen, *Diseño de la Instrucción. Teorías y Modelos*. Madrid, España: Santillana, 2000, ch. Diseño de Entornos Constructivistas de Aprendizaje.
- [5] D. Jonassen and W. Hung, "All problems are not equal: Implications for problem-based learning," *The Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, vol. 2, no. 2, 2008.
- [6] D. Knowlton, "Preparing students for educated living: Virtues of problem based learning across of higher education curriculum," *New Directions for Teaching and Learning*, vol. 95, 2003.
- [7] S. de Innovación Educativa, "Aprendizaje basado en problemas," 2008, Universidad Politécnica de Valencia.
- [8] D. de Investigación y Desarrollo Educativo, "El aprendizaje basado en problemas como técnica didáctica," en *Las Estrategias y Técnicas Didácticas en el Rediseño*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- [9] B. Gross Davis, "Quizzes, tests, and exams. tools for teaching", 1999, Online: <http://teaching.berkeley.edu/bgd/quizzes.html>.
- [10] C. Camargo, "Teaching/Learning Methods for Embedded Systems Using Copyleft Hardware," *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, vol. 9, no. 4, july, 2011.



**Leonardo Ordinez** received the Computer Systems Engineering degree and Ph.D. in Engineering degree from Universidad Nacional del Sur, Argentina, in 2006 and 2010, respectively. He is Teaching Assistant at the same university and Assistant Professional at CONICET, Argentina. His main interests are in the field of embedded and cyber-physical systems, specially dealing with requirements and system design. He has authored several papers and is currently involved in different multidisciplinary projects in the areas of precision agriculture and bioenergy.



**Omar Alimenti** received the Electrical Engineering degree and the M.S. in Engineering degree from Universidad Nacional del Sur, Argentina, in 1979 and 1999 respectively. He is in the teaching profession since 1980 in subjects of computer architectures. He is currently Full Professor. He has authored numerous publications in the specialty of Real Time Systems and Microprocessors and is director of numerous scientific research projects and technology transfer.