

APRENDIZAJE POR PROYECTOS APOYADO POR EL DISEÑO INSTRUCCIONAL 4C/ID Y EL DISEÑO ÁGIL SCRUM EN UN CURSO DE SISTEMAS EMBEBIDOS BIOMÉDICOS

PROJECT-BASED LEARNING SUPPORTED BY THE INSTRUCTIONAL DESIGN 4C / ID AND THE AGILE SCRUM DESIGN IN A COURSE OF BIOMEDICAL EMBEDDED SYSTEMS

Joel Ricardo Jiménez Cruz

Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, México
jcjr@xanum.uam.mx

Recepción: 21/octubre/2019

Aceptación: 2/diciembre/2019

Resumen

En este trabajo se plantea y se explora la aplicabilidad didáctica del aprendizaje basado en proyectos en un curso de sistemas embebidos biomédicos. La planificación del proyecto se establece de acuerdo a las reglas del diseño instruccional 4C/ID y la implementación del proyecto se dirige y acciona por medio del diseño ágil SCRUM. En el curso se diseña y construye, de manera iterativa, el prototipo de un sistema embebido biomédico que tiene aplicaciones en el estudio de la variabilidad de la frecuencia cardíaca. Se presentan, de manera cualitativa, los resultados obtenidos al utilizar las metodologías propuestas en este trabajo.

Palabras Claves: 4C/ID, Arduino, bioseñales, microcontroladores, PBL, SCRUM, sistemas embebidos.

Abstract

In this paper, the didactic applicability of project-based learning in a course of biomedical embedded systems is proposed and explored. Project planning is established according to the rules of the instructional design 4C/ID and the implementation of the project is directed and activated through the agile SCRUM design. In the course, the prototype of a biomedical embedded system that has applications in the study of heart rate variability is designed and constructed in an

iterative manner. The results obtained by using the methodologies proposed in this work are presented qualitatively.

Keywords: *4C/ID, Arduino, biosignals, embedded systems, microcontrollers, PBL, SCRUM.*

1. Introducción

El aprendizaje basado en proyectos (PBL, por sus siglas en inglés) es un modelo activo de aprendizaje que se fundamenta en las teorías del hacer (making) y del hágalo usted mismo (do it yourself) [Van Merriënboer, 2017]. En este modelo se establecen que los alumnos realicen investigaciones sobre proyectos realistas que tienen como finalidad la construcción del conocimiento de manera social y el desarrollo de habilidades, actitudes, competencias y actitudes. El PBL es una técnica pedagógica que puede orientar y mejorar la enseñanza de las materias propias de la Ingeniería y que puede impulsar la consecución del logro de los objetivos trazados en un curso, que se encuentran alineados con un plan curricular determinado [Rajanikant, 2018].

En el PBL se distinguen cuatro fases en el desarrollo de un proyecto: planificación, elaboración, ejecución y evaluación.

El PBL contiene el esbozo de los procedimientos para lograr esos objetivos y los beneficios que se pueden alcanzar para producir un aprendizaje significativo en los alumnos [Pujol, 2017]. Sin embargo, al PBL le falta especificar de manera más concreta, la forma directa y explícita de cómo llevar a cabo esos procedimientos y lograr esos beneficios.

Es por ello, que en este trabajo se plantea y se explora la aplicabilidad didáctica del aprendizaje por proyectos vinculadas a un curso trimestral de sistemas embebidos en la Licenciatura en Ingeniería Biomédica de la UAM-Iztapalapa. Se propone que la parte de planificación del PBL se apoye en el uso de las estrategias metodológicas del diseño instruccional 4C/ID y que la parte de elaboración y ejecución descansa en las exhortaciones del diseño ágil SCRUM. De esta forma, se puede lograr de una manera puntual, las directrices necesarias y específicas para cumplir de manera más efectiva el desarrollo de los proyectos (figura 1).

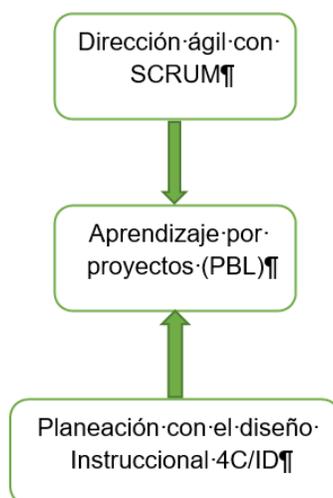


Figura 1 Metodológica del PBL soportada por SCRUM y 4C/ID.

El Diseño Instruccional 4C/ID

El diseño instruccional de los cuatro componentes 4C/ID [Van Merriënboer, 2010] es consistente con los principios de instrucción señalados por [Merrill, 2012]:

- Aprendizaje centrado en tareas o proyectos.
- Recuerdo y activación de conocimientos previos relevantes.
- Demostraciones de los nuevos conocimientos adquiridos.
- Aplicación del conocimiento en el contexto de tareas del mundo real.
- Integración de los conocimientos recién adquiridos en la vida personal, académica y profesional.

Este modelo apoya las tendencias actuales en educación:

- Enfoque dirigido al desarrollo de habilidades complejas y competencias profesionales.
- Mayor énfasis en la transferencia de lo que se aprende en la escuela a nuevas situaciones y nuevos desempeños.
- Desarrollo de habilidades digitales que son importantes para el aprendizaje permanente [Melo, 2018].

El modelo 4C/ID está compuesto por cuatro componentes que apoyan el diseño de un curso. Estos componentes se refieren al diseño de tareas acompañadas de

prácticas y ejercicios, y a la información de los recursos educativos y de organización para el buen desempeño del curso. El diseño instruccional está apoyado en diez actividades prácticas (tabla 1).

Tabla 1 Componentes y actividades prácticas del modelo 4C/ID.

Componentes teóricos	Actividades Prácticas
Tareas de aprendizaje (Descomposición de habilidades en principios)	1) Diseñar tareas de aprendizaje
	2) Secuenciar tareas
	3) Determinar objetivos de desempeño
Información de apoyo (Análisis de habilidades constitutivas y conocimiento relacionado)	4) Diseñar información de apoyo
	5) Analizar estrategias cognitivas
	6) Analizar modelos mentales
Información de procedimientos (Selección de material didáctico)	7) Diseñar información procedimental
	8) Analizar reglas cognitivas
	9) Analizar conocimiento previo requerido
Práctica por parte de las tareas (Composición de la estrategia formativa)	10) Diseñar tareas prácticas

Las primeras tres actividades están encaminadas a diseñar las tareas de aprendizaje en concordancia con los objetivos de desempeño: En la primera actividad se especifica una o más tareas que representen a una tarea compleja completa que constituyen las habilidades a desarrollar. El paso 2 especifica la progresión de las tareas con dificultad creciente para adquirir los conocimientos, habilidades y actitudes necesarias. El paso 3 explicita los estándares que deben lograrse de acuerdo al contenido del curso con el fin de obtener un desempeño aceptable por parte de los alumnos. Los pasos o actividades subsecuentes identifican los conocimientos, habilidades y actitudes que son necesarias para realizar cada tarea de aprendizaje en una progresión creciente de las mismas. En el paso 4, la información de apoyo (materiales educativos útiles o reorganización de ellos) ayuda al estudiante a realizar los aspectos no recurrentes de las tareas relacionados con la resolución de problemas y el razonamiento. Los pasos 5 y 6 son útiles para diseñar la información educativa de apoyo. En el paso 5, se analizan las estrategias cognitivas que los expertos utilizan para resolver problemas dentro de un dominio de conocimientos. En paso 6, se analizan los modelos mentales que describen la manera en que el dominio de conocimientos está organizado.

Las actividades para diseñar y desarrollar la información procedimental son útiles para llevar a cabo los aspectos recurrentes de las tareas de aprendizaje. En el paso 7 se escogen o actualizan los materiales educativos apropiados y se vinculan con las tareas de aprendizaje. En el paso 8, se analizan las reglas cognitivas que especifican los pares de condición-acción que guían los comportamientos de estudio rutinarios y en el paso 9 se analiza el conocimiento pre-requerido para el uso correcto de las reglas cognitivas.

Finalmente, en el paso 10 se diseñan los aspectos recurrentes de una habilidad compleja a partir de prácticas y ejercicios con el fin de desarrollar un alto nivel de automaticidad.

El Marco de Trabajo SCRUM

SCRUM es un marco de desarrollo y un método interactivo ágil para gestionar, administrar y ejecutar procesos en proyectos complejos, en forma auto-organizada, promoviendo la comunicación y la disciplina entre los miembros del equipo [Lizcano, 2018]. SCRUM se ha aplicado en la industria y en el salón de clases [Del Moral, 2018]. Uno de los puntos básicos de SCRUM es la aproximación incremental al desarrollo de un producto en base a iteraciones, motivada por un equipo autónomo y con potestad para organizar su propio trabajo. En SCRUM se pueden identificar dos elementos: los actores (tabla 2) y las acciones (tabla 3). El corazón de SCRUM es un *Sprint*, que es un intervalo prefijado durante el cual se crea en forma ágil un incremento del producto potencialmente entregable y utilizable. A lo largo del desarrollo hay *Sprints* consecutivos.

Cada *Sprint* se puede considerar un mini-proyecto de no más de un mes. Al igual que los proyectos, los *Sprint* se utilizan para probar o lograr algo. Cada *Sprint* cuenta con una definición de lo que se va a construir, un diseño y un plan flexible que guiará la construcción del plan, el trabajo, y el producto resultante. El *Sprint* finaliza con un análisis y retrospectiva. A medida que el *Sprint* siguiente comienza, el equipo selecciona otros elementos de la lista y comienza a trabajar nuevamente.

Se trabaja con tableros de historia. Una pizarra con tres columnas: Pendiente, En proceso y realizado.

Tabla 2 Los actores en SCRUM.

Actores en SCRUM	Función
Maestro o experto	Normalmente el cliente o aquel que señala los requerimientos del proyecto y crea una lista de prioridades
Dueño o Propietario	Es el gestor y guía responsable del proyecto y del equipo que mantiene al equipo enfocado en la meta. Tiene y trasmite una visión clara de lo que se desea crear, fabricar o conseguir y ayuda a eliminar obstáculos. Tiene en cuenta riesgos y compensaciones, y evalúa lo que es posible y factible. mantiene ritmos definidos, repetitivos para completar los trabajos en un tiempo mínimo
Equipo	Desarrolladores que ejecutarán el <i>Sprint</i> en un cierto tiempo (de dos a cuatro semanas). Trabajan en forma auto-organizada y multifuncional, y operan con comunicación cercana, e interacción, como una sola unidad. Realizan el análisis, diseño, pruebas e implementaciones. Cada persona contribuye y trabaja en la disciplina que conoce. Se confía en la habilidad y capacidad de los individuos
Usuarios	Beneficiarios del producto. Los usuarios se implican desde el principio del proyecto para que aporten sus opiniones y permitan mejorar el producto durante su desarrollo

Tabla 3 Las acciones en SCRUM.

Acciones	Descripción
<i>Product Backlog</i>	Lista de tareas a realizar y objetivos que se pretenden conseguir, especificados por el dueño del producto y el experto
<i>Sprint Backlog</i>	Lista de tareas que se realizarán en un plazo muy corto, entre dos y cuatro semanas. Al finalizarlo, se obtiene un entregable y se revisa y extraen las lecciones aprendidas
<i>Sprint Planning Meeting</i>	Reunión que sirve para decidir y planificar qué tareas pasarán del <i>Product Backlog</i> al <i>Sprint Backlog</i>
<i>Daily SCRUM Meeting</i>	Reunión diaria o cada tercer día de unos 15 minutos, mientras dura el <i>Sprint Backlog</i> en la que cada miembro del equipo muestra y evalúa las tareas realizadas en el <i>Sprint</i> y cuáles va a realizar durante el día y qué riesgos percibe

Otra forma de hacer que el trabajo sea visible es crear un diagrama de trabajo pendiente (“*burn down*”). En uno de los ejes está el número de avances que el equipo ha logrado y en el otro el número de días. Cada día el Maestro registra el número de puntos (avances) que se han completado y los anota en el trabajo pendiente. Lo ideal sería que hubiera una curva descendente que llegara a cero puntos en el último día del *Sprint*. Esto continúa hasta que el proyecto se considere completado, ya sea por dejar de trabajar en el mismo (plazo, presupuesto, etc.) o por haberse completado la lista completa.

La lista de prioridades (*backlog*) contiene 2 elementos:

- Épicas. Historias de alto nivel que se esbozan sin mucho detalle.
- Historias. Requisitos más detallados de lo que se debe hacer o es posible hacer. Una épica puede ser dividida en varias historias. Una historia se divide en tareas discretas con las que el equipo podrá trabajar y reportar.

SCRUM tiene que ver con tomar decisiones en tiempo real en base objetivos, con equipos de desarrollo auto-gestionados y una comunicación excelente.

2. Métodos

En esta sección se describe cómo la metodología del aprendizaje por proyectos se puede auxiliar, en el diseño y planeación del curso con el diseño instruccional 4C/ID y en la parte operativa con las estrategias ágiles de SCRUM.

La aplicabilidad didáctica de estos elementos se probó en un curso de la Licenciatura en Ingeniería biomédica que estudia la arquitectura y organización de una computadora en general y de un microcontrolador y de un microprocesador en particular. En este curso se revisa el análisis y diseño de hardware y software de los microcontroladores y microprocesadores utilizando la tarjeta de desarrollo Arduino UNO. Con el fin de integrar la teoría con la práctica, en el curso se diseña e implementa, de manera iterativa, el prototipo de un sistema embebido biomédico que tiene aplicaciones en el estudio de la variabilidad de la frecuencia cardíaca.

Los requisitos previos del curso consisten en alguna experiencia en programación y en electrónica y la familiaridad con entornos de desarrollo integrado (IDE), etc.

En un nivel alto, el curso consta de dos partes:

- La construcción del sistema embebido.
- La prueba, evolución y evaluación del mismo.

El curso comienza con la construcción incremental del sistema embebido: construyendo la parte de adquisición y luego conectándolo a la computadora o a los dispositivos móviles, utilizando diversas interfaces con el usuario e integrando las diversas plataformas y tecnologías. El sistema se va construyendo en forma

incremental utilizando las estrategias de SCRUM, hasta desarrollar un prototipo final. Este enfoque de dos fases: construir el sistema y luego probarlo e irlo evolucionando permite a los estudiantes comprender cómo se construyen las distintas partes de manera individual y cómo se transforman en un sistema más completo y útil. A continuación, se observa cómo se comporta el sistema con el usuario y cómo se le pueden hacer mejoras o modificaciones.

Dadas las características del curso que introducen una variedad de nuevas tecnologías en un período corto de tiempo, integrando diferentes partes para construir un sistema completo, se hace necesario emplear las metodologías que se proponen. Estas técnicas permiten desarrollar habilidades representativas de lo que se espera en la vida profesional respecto al desarrollo de sistemas, pero que a su vez son difíciles de incluir como objetivos de aprendizaje en un curso tradicional basado solo en clases tradicionales.

Planeación del Aprendizaje con el Diseño Instruccional 4C/ID

La planeación del curso, de acuerdo a 4C/ID, se realizó con el diseño de tareas de aprendizaje acompañadas de prácticas y ejercicios y escogiendo los recursos educativos adecuados en función de los objetivos de desempeño de los estudiantes. Las tareas de aprendizaje se derivan de la construcción del proyecto de un sistema embebido biomédico, especificando para ello, varios criterios que determinan la secuenciación y los objetivos de desempeño [Barendt, 2018]:

- El uso y la utilidad del dispositivo deben ser obvios para la mayoría de los usuarios; utilizando plataformas y software conocidos.
- El manejo y administración del sistema debe ser sencilla.
- El sistema debe ser portátil, para que se pueda desarrollar y probar en el salón de clases, en la casa, en el laboratorio o donde sea que se esté, y que quepa en la mochila para que sea fácil de transportar.
- El dispositivo debe ser de bajo costo y fácil adquisición para que cada estudiante o equipo pudiera tener su propio kit.
- La construcción del dispositivo se debe basar en una familia de procesadores, memoria, E/S, etc., que sea de fácil manejo y cuya curva de

aprendizaje sea bajo. En particular se pueden escoger tarjetas de desarrollo y software expreso que cuentan con recursos informáticos suficientes.

- De preferencia, que exista una comunidad de desarrollo activo que mantengan accesorios de software y hardware.
- Tomar en cuenta el tiempo que se tiene para el desarrollo del sistema.

Tomando en cuenta los criterios anteriores, se escogió la tarjeta de desarrollo Arduino que tiene un costo bajo y es físicamente pequeña y se puede adquirir fácilmente a través de múltiples distribuidores. Tiene recursos informáticos más que suficientes y se le puede agregar componentes como Wi-Fi, Bluetooth y diversos Shields que permiten desarrollar aplicaciones muy diversas de manera rápida y efectiva. También se evitan curvas de aprendizaje altas tanto en hardware como en software [Silva, 2018].

Desde el primer día de la clase se comienza a familiarizarse con esta tarjeta de desarrollo y con la comunicación de ésta con la computadora.

La información de apoyo y procedimental se va colocando de forma incremental durante el trimestre en un aula virtual de Moodle. Se proporcionan materiales educativos para las clases y para el entrenamiento auto-dirigido, y enlaces a sitios web que ofrecen tutoriales interactivos. Estos materiales apoyan la instalación de los componentes electrónicos y la configuración de los programas utilizados. También se colocan instrucciones para las tareas y prácticas de laboratorio que permiten el desarrollo de habilidades y el conocimiento relacionado con estrategias cognitivas y modelos mentales que tienen que ver con la construcción del proyecto. Estas tareas y prácticas soportan la parte teórica de la arquitectura y funcionamiento de los microcontroladores. De igual forma, se explica y especifica la forma en que se entregarán las tareas y prácticas de laboratorio de acuerdo a una estructura definida para el reporte correspondiente.

En el salón de clases también se combinan la parte teórica y práctica para conformar estrategias formativas. El salón de clases tiene mesas que promueven el trabajo en equipo, al igual que en el laboratorio. El trabajo en equipo y la disposición del mobiliario proporciona a los estudiantes experiencias sobre los sistemas de

software/hardware del mundo real, que puedan ser aplicadas a sistemas embebidos, sistemas ciberfísicos o Internet de las cosas (IoT). En la clase se revisan arquitecturas, tecnologías, lenguajes, protocolos y plataformas actuales que permitan familiarizar y entrenar al alumno para el trabajo futuro en la industria.

Utilización de SCRUM para Dirigir la Construcción del Proyecto

La metodología SCRUM promueve el trabajo en equipo porque aumenta el valor de la aportación de cada estudiante, su compromiso y entusiasmo para con el proyecto, en especial debido a tres de sus principales características:

- **Transparencia.** Los plazos, el alcance de cada tarea y del proyecto, las dependencias entre actividades, el establecimiento de prioridades... todo es público. Las reuniones diarias o cada tercer día permiten que el conocimiento del equipo se actualice, y que las partes involucradas se comprometan entre sí para avanzar en el proyecto. No solamente el responsable asigna las tareas, sino también los propios miembros del equipo las asumen y las atribuyen de forma voluntaria.
- **Programación de las tareas.** Dada la duración reducida de las iteraciones en SCRUM y la existencia de una fecha límite se fomenta la disciplina, muy necesaria en las entregas iterativas e incrementales que se emplean.
- **Visualización.** El colorido y la fuerza de las notas adhesivas que se colocan en un pizarrón, van creando una atmósfera que aumenta la sensación de cohesión y fomenta la visión estratégica y la proactividad en las personas.

Los equipos, utilizando los diseños de SCRUM, se conformaron con estudiantes con diferentes conocimientos (porque provienen de diferentes semestres o de intercambio de otras universidades) que promueven la participación, cooperación y apoyo entre iguales. Los estudiantes trabajan en parejas para cada tarea, "clonan" los ejercicios del libro o de los sitios web y luego extienden o combinan los códigos que se adecuen al desarrollo del proyecto de manera incremental. Se ha observado que el trabajo en equipo mejora la eficiencia y habilidad en los estudiantes a la hora de integrar las partes del hardware y su programación. El trabajo en equipo también

se ha asociado con que los estudiantes inicien los proyectos de manera exitosa, sobre todo en cursos de ritmo acelerado como este [Onieva, 2018].

El método de SCRUM sugiere que se tengan, por un lado, dos listas de tareas (una general que especifica la visión y los objetivos a cumplir y otra particular que señala las tareas inmediatas a realizar) y, por otro lado, dos tipos de reuniones (una de planeación y otra para demostrar y evaluar el producto que se está construyendo)

En el salón de clases y en el aula virtual se llevan a cabo las reuniones que propone SCRUM. En ellas, se efectúan varias actividades: los estudiantes se comunican entre sí y con el profesor; se comparten sugerencias para las tareas; se anuncian actualizaciones del software; se responde a preguntas de los estudiantes; se brindan consejos de diagnóstico y se comparte información sobre eventos y sitios relacionados. En el aula virtual se tiene la visión del curso y sus objetivos y se hacen anuncios importantes. En los foros, los estudiantes pueden plantear preguntas, pedir ayuda, compartir capturas de pantalla cuando tienen problemas, etc. Se ha encontrado que los estudiantes comienzan a apoyarse unos a otros utilizando estas herramientas virtuales, respondiendo a los demás, preguntando, aportando consejos, etc.

De acuerdo con SCRUM, en la clase se enfatiza el valor de las demostraciones semanales de "platicar, discurrir y mostrar" las nuevas funcionalidades del proyecto que se va desarrollando. También se reconoce la evolución del producto que se basa en el desarrollo incremental de versiones completas y funcionales.

3. Resultados

En el curso se tuvieron 12 estudiantes. Para ir implementando el proyecto se formaron equipos de 2 personas y ocasiones se reunían 4 personas para formar 3 equipos. En cada uno de ellos se nombró a un dueño y a un propietario para que implementaran las listas e iniciaran un *Sprint* de SCRUM. También se llevaron a cabo las reuniones en clase para la planeación de las tareas y las reuniones de presentación para demostrar y evaluar los avances del proyecto.

El proyecto consistió en la elaboración de un fotopleletismógrafo (PPG), el cual es un sistema que adquiere, procesa y despliega información del corazón. Para ello, se

utilizó un sensor que obtiene la señal del pulso cardiaco y que se conecta a la tarjeta Arduino (figura 2). Un programa desarrollado en el lenguaje de programación Processing se encarga de procesar y desplegar la información referente a los latidos por minuto del corazón (BPM) y los tiempos entre latido y latido (IBI) (figura 3).



Figura 2 Adquisición de la señal de PPG.

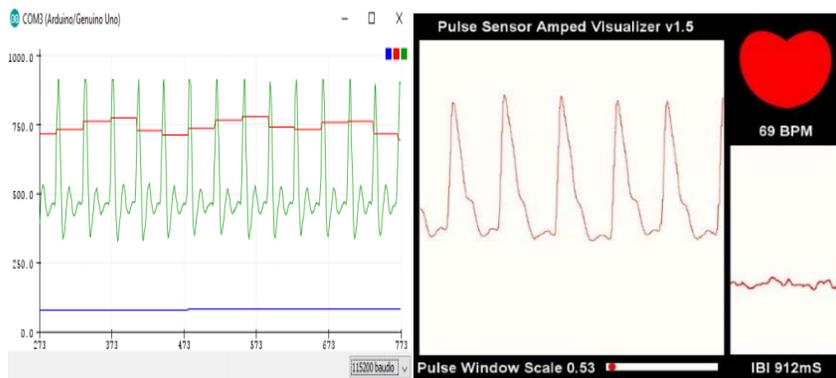


Figura 3 Procesamiento en Arduino (azul BPM, verde PPG y rojo IBI) y en Processing.

Para realizar el proyecto, inicialmente se realizaron prácticas utilizando la placa de Arduino con el fin de familiarizarse con su manejo y programación [Pan, 2018]. Posteriormente se fueron replicando, probando y modificando las actividades que vienen en el sitio web referentes al uso de un sensor de pulso cardiaco (<https://pulsesensor.com/>).

En el aula virtual de Moodle se van coordinando todos los esfuerzos para ir desarrollando el sistema bioingenieril; se proporcionan instrucciones, soluciones y demostraciones para realizar las conexiones del hardware y la configuración del software (de terceros) en las diferentes etapas del proyecto.

Las soluciones parciales del desarrollo del sistema se van archivando con el fin de poder recuperar o revisar versiones anteriores. Los códigos fuente se pueden compartir con el fin de que los estudiantes aprendan de los otros. La naturaleza incremental del curso y de la construcción del proyecto se basa en que el avance del trabajo de cada semana se basa en la anterior de tal manera que los sistemas se van actualizan a una solución que trabaje más eficientemente.

4. Discusión

Las guías del diseño instruccional de 4C/ID y las estrategias sugeridas por SCRUM han mejorado el contenido del curso. La retroalimentación y las discusiones periódicas retrospectivas entre estudiantes, equipos y profesor han permitido el desarrollo del proyecto en forma más sencilla y fácil de producir. La disposición del aula virtual con la adición de soluciones, rúbricas más claras y creación de scripts de demostración conducen a la automatización y repetitividad general del curso.

La comprensión de los estudiantes se evaluó con el proyecto final y con la documentación que se fue entregando durante el trimestre. El proyecto final demuestra la capacidad de los estudiantes para sintetizar el material del trimestre, resolver un problema de ingeniería novedoso y terminar con un proyecto finalmente exitoso (aunque en etapas anteriores se hayan tenido fallas y tropiezos).

Las evaluaciones (cuantitativas y cualitativas) y observaciones de los estudiantes trabajando en equipo, indican que los estudiantes dominan el material cubierto y que les gusta la naturaleza práctica del curso y la cobertura de las tecnologías y prácticas que se realizan. Otros avances derivados y vinculados al proyecto se refieren a la comunicación escrita, presentaciones, demostraciones y resolución de problemas. Los dos primeros están vinculados a los resultados de los estudiantes que muestran una capacidad para comunicarse de manera efectiva; el tercero y el cuarto muestran la capacidad de identificar, formular y resolver problemas de ingeniería y la capacidad de usar las técnicas, habilidades y herramientas de la ingeniería para la práctica profesional.

En la tabla 4 se presentan de manera cualitativa y comparativa, los resultados que se han obtenido por parte de los estudiantes cuando el autor dictó la materia en

cursos anteriores, utilizando una metodología tradicional y los obtenidos en el curso actual empleando las metodologías pedagógicas propuestas en este trabajo.

Tabla 4 Resultados obtenidos por parte de los estudiantes.

Cursos anteriores con una metodología tradicional	Curso actual soportada por la metodología didáctica propuesta
Calificaciones pobres con alguna sobresaliente	Mejores calificaciones en promedio
Un proyecto mal terminado	Un proyecto terminado más completo
Normalmente se llega a un prototipo	Realización de dos prototipos
Observación de una comprensión adecuada	Observación de una mayor comprensión
Falta de consistencia e integración en los reportes y demostraciones realizadas	Reportes y demostraciones mejor organizadas e integradas
Obtención de habilidades técnicas profesionales apropiadas	Mejoramiento de habilidades técnicas profesionales

Las ofertas futuras del curso requerirán de actualizaciones periódicas de lo que se ha comentado anteriormente para mantenerse al día con los cambios en las tecnologías y plataformas utilizadas. Es probable que haya adiciones o cambios como la implantación del proyecto en un sistema Android u otros sistemas operativos. También se puede hacer uso de simuladores o virtualización del proyecto antes de su construcción con el fin de avanzar en las diferentes etapas de manera más confiable.

En proyectos más complejos se hace necesario el uso de plataformas que vayan integrando las diferentes versiones del hardware y software. Un sistema de integración podría simplificar las actualizaciones y cambios en el material con el fin de contar con versiones actualizadas de las tecnologías y plataformas utilizadas. Sería conveniente y de gran ayuda compartir las técnicas del diseño instruccional y el método ágil de proyectos para el desarrollo de otros cursos en diferentes niveles educativos y profesionales en la industria.

5. Conclusiones

Con las proposiciones del diseño instruccional 4C/IP y las estrategias ágiles de SCRUM, los fundamentos teóricos del PBL se ven fortalecidos y apoyan de mejor manera el progreso rápido de los proyectos.

El uso de estas técnicas o metodologías mejoran la planeación y organización del contenido del curso y facilitan la adquisición del conocimiento. Utilizando las ideas de las herramientas ágiles como SCRUM, se realizaron varias iteraciones para lograr un prototipo que fuera enriqueciéndose durante el transcurso del trimestre y que tomara en cuenta las propiedades, comportamientos y metas del sistema.

La experiencia teórica y práctica adquirida por los estudiantes incluye el uso de tarjetas para el desarrollo de sistemas embebidos y el ciclo de vida de un proyecto que involucra al hardware y al software.

Hay dos principios que se han tratado de articular en el curso, por un lado, se encuentran los tenores de las técnicas utilizadas (PBL, 4C/ID y SCRUM) en las cuales el aprendizaje está centrado en el alumno y se promueve el aprender haciendo y el enseñar a otros, y por el otro lado, se encuentran los principios del uso y experimentación de tecnologías, protocolos y las plataformas de vanguardia. Estos principios requieren que el contenido del curso y el profesor se actualice continuamente ya que las plataformas tecnológicas utilizadas en el curso están en constante evolución.

Dada la amplitud técnica del material cubierto en el curso, también se requieren profesores y asistentes técnicos con una amplitud técnica equivalente. Los alumnos también deben tener o desarrollar habilidades de diagnóstico para manejar la plataforma de Arduino y experimentar en los lenguajes de programación.

La necesidad de un curso de licenciatura en sistemas embebidos parece clara. La experiencia con este curso ha demostrado un gran interés por parte de los estudiantes, al menos parcialmente impulsado por la naturaleza práctica y experiencial del curso.

La amplia aplicabilidad de muchos de los conceptos técnicos, incluidos el análisis y las pruebas animan a los estudiantes a seguir adelante. Por otro lado, la amplia gama de tecnologías, lenguajes y plataformas necesarias para construir un sistema embebido en el mundo real pueden ser desalentadoras.

En la clase y en el laboratorio, no solo se enseña a los estudiantes cómo desarrollar sistemas embebidos, sino también se comentan las prácticas que se utilizan en la industria para que los estudiantes las experimenten en la universidad. El proyecto

contempla el armado de las diferentes partes para que los estudiantes entiendan cómo se van conectando los subsistemas para crear un sistema completo. Es por ello que se promueve el diseño evolutivo, incremental de productos/sistemas para que los estudiantes obtengan una comprensión de cómo se pueden desarrollar productos/sistemas complejos a partir de núcleos más simples. Los estudiantes adquieren experiencia en las tareas que dan una solución a los requisitos de un sistema funcional y aquellas que llevan a un funcionamiento erróneo.

Al estructurar una planeación del curso en base al método 4C/ID y el seguimiento de la construcción incremental del proyecto de acuerdo a los procesos ágiles de SCRUM, permite que los estudiantes adquieran nuevas habilidades y destrezas en la construcción de proyectos de su interés o solicitados por alguien. La implantación de estas metodologías en el salón de clases y en el laboratorio ha mostrado que los estudiantes aprenden cómo construir el sistema de manera ágil y se encuentran mejor preparados para investigar y ampliar el sistema armado con una clara comprensión de su arquitectura, organización y funcionamiento.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Barendt, N., Sridhar, N., Loparo, K. A. (2018). A New Course for Teaching Internet of Things: A Practical, Hands-on, and Systems-level Approach Paper presented at 2018 ASEE Annual Conference & Exposition, Salt Lake City, Utah.
- [2] Del Moral, L., Barberis, Á. (2016). SCRUM como herramienta metodológica en el entrenamiento cooperativo de la programación: proceso evaluativo. CACIC, V Workshop de Innovación en Educación en Informática (WIEI).
- [3] Kuz, A., Falco, M., Giandini, R. (2018). Comprendiendo la aplicabilidad de SCRUM en el aula: herramientas y ejemplos. *Revista TE & ET*, Número 21.
- [4] Lizcano, J. (2018). Experiencia práctico pedagógica en la aplicación de SCRUM en el aula. *Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 3(1), 40-56.
- [5] Pan, T., Zhu, Y. (2018). *Designing Embedded Systems with Arduino. A Fundamental Technology for Makers*. Springer Nature: Singapore Pte Ltd.

- [6] Melo, M. (2018). The 4C/ID-Model in Physics Education: Instructional Design of a Digital Learning Environment to Teach Electrical Circuits. *International Journal of Instruction*, 11(1), 103-122.
- [7] Onieva, J. (2018). SCRUM como estrategia para el aprendizaje colaborativo a través de proyectos. propuesta didáctica para su implementación en el aula universitaria. *Currículum y Formación del Profesorado*. Vol. 22, Núm. 2.
- [8] Pujol, F. (2017). El Aprendizaje Basado en Proyectos y el Aprendizaje por Descubrimiento Guiado como estrategias didácticas en Biología y Geología de 4º de ESO. Trabajo fin de máster. Facultad de Educación- Universidad Internacional de La Rioja.
- [9] Rajanikant A., BharathPulavarthi, V., Srikanth, I., Bhattar, C. (2018). Microcontroller Laboratory practices through project-based learning. *Journal of Engineering Education Transformations*, Volume 31, No. 3.
- [10] Silva, S. (2018). Aprendizaje Basado en Proyectos y Arduino en Tecnología de 4ºESO. Trabajo fin de máster. Facultad de Educación Universidad Internacional de La Rioja.
- [11] Van Merriënboer, J., McKenney, S., Cullinan, D., Heuer, J. (2017). Aligning Pedagogy with Physical Learning Spaces. *European Journal of Education*, v52 n3 p253-267.
- [12] Van Merriënboer, J., Kirschner, J., Kirschner, P. (2010). Diez pasos para el aprendizaje complejo: Un acercamiento sistemático al diseño instruccional de los cuatro componentes. *Aseguramiento de la Calidad en la Educación y en el Trabajo*, SC.