

Implementation of Project Based Learning: Lessons Learned

Christian Quesada-López

*Escuela de Ciencias de la Computación e Informática
Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica
cristian.quesadalopez@ucr.ac.cr*

Alexandra Martínez

*Escuela de Ciencias de la Computación e Informática
Universidad de Costa Rica
San José, Costa Rica
alexandra.martinez@ucr.ac.cr*

Abstract—Project Based Learning (PBL) is a teaching and learning methodology where students develop projects under real conditions to acquire the knowledge and develop the skills required for their profession. In this article we discuss the lessons learned from two teachers who implemented different PBL approaches in three courses from the Bachelor in Computer and Informatics at the University of Costa Rica, during three semesters. We discuss the main considerations and decisions associated to project design elements and teaching practices. Among the main benefits identified by teachers when using PBL are the high motivation of students and the natural development of soft skills. Among the greatest challenges are (1) the design of learning assessment, considering technical aspects, soft skills, self- and peer- evaluations; (2) continuous feedback to students on their progress in the project and in team dynamics (and its consequent time investment); and (3) the necessary balance between designing a challenging and realistic project that enables the achievement of the course's learning objectives. We recommend the use of agile methodologies such as Scrum, which align very well with PBL principles, as well as the use of hybrid PBL methodologies, which include complementary didactic strategies to achieve the learning objectives of the course.

Keywords—Project Based Learning, PBL, ABP, Lessons Learned, Software Engineering, Databases

I. INTRODUCCIÓN

Múltiples estudios han reportado que los graduados de carreras de Computación e Informática, y específicamente de Ingeniería de Software, enfrentan dificultades al inicio de su carrera profesional [1]–[6], debido a la brecha que existe entre los conocimientos y habilidades adquiridos en la educación universitaria y aquellos requeridos por la industria [6]. Para subsanar esto, las universidades han empezado a implementar nuevas metodologías de enseñanza, tales como el aprendizaje basado en proyectos (ABP), que intentan acercar a los estudiantes a proyectos reales y similares a los que enfrentarán en su vida profesional [5]–[11].

El propósito del ABP es preparar a los estudiantes para el éxito académico, personal y profesional, permitiéndoles asumir retos reales, similares a los que enfrentarán en profesión. En ABP, los estudiantes trabajan en un proyecto que consiste en resolver un problema del mundo real o responder una pregunta compleja, durante un período prolongado de tiempo, al final del cual hacen una presentación pública

para una audiencia real. Como resultado, los estudiantes adquieren un aprendizaje profundo y duradero del contenido, así como habilidades de pensamiento crítico, creatividad y comunicación, en el contexto de un proyecto auténtico y significativo [12].

Los autores de este artículo son docentes activos en las áreas de Ingeniería de Software (primer autor) y Bases de Datos (segunda autora), con 3 y 10 años de experiencia docente, respectivamente. Asimismo, poseen experiencia profesional en la industria y han realizado múltiples colaboraciones academia-industria por más de 10 años. Ambos han trabajado en el diseño y la implementación de distintas modalidades de metodologías de ABP en sus cursos, incorporando estrategias didácticas complementarias así como el uso de prácticas ágiles, dado su acople natural con los principios de ABP. Esto conllevó retos que muchas veces solo fueron evidentes al implementar las experiencias.

El objetivo de este artículo es reportar las lecciones aprendidas durante la implementación de ABP en tres cursos de grado de la Escuela de Ciencias de la Computación e Informática (ECCI) de la Universidad de Costa Rica. Para ello discutimos los principales retos asociados a los elementos de diseño del proyecto, las prácticas de enseñanza y los objetivos de aprendizaje, en el contexto de nuestros cursos. Finalmente, listamos aspectos que consideramos útiles para una implementación exitosa de ABP.

El resto de artículo se estructura de la siguiente manera: la Sección II describe los conceptos del ABP, la Sección III presenta algunos trabajos relacionados, la Sección IV describe el contexto de aplicación, la Sección V analiza las lecciones aprendidas, la Sección VI discute los resultados, y la Sección VII presenta las conclusiones.

II. APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS (ABP)

El aprendizaje basado en proyectos está arraigado en la premisa constructivista de que el aprendizaje es más significativo y profundo cuando los estudiantes participan en la construcción de su propio conocimiento [13]. El ABP consiste en la organización del proceso de formación alrededor de una situación o problema real que exige para su resolución la integración de conocimientos, habilidades y actitudes [14].

Desde una perspectiva pedagógica, los principios fundamentales del ABP son [15]: (1) el aprendizaje está vinculado a la teoría, al hacer, y a la intuición, y refleja una posición ética de todas las personas involucradas en el proceso de enseñanza-aprendizaje, (2) el cuerpo docente enseña a escuchar, pues podemos aprender de las otras personas, (3) cada recorrido para la construcción de conocimiento es singular y se trabaja con diferentes tipos de información para lograr espacios de aprendizaje, (4) un recorrido por un proyecto favorece el análisis, la interpretación y la crítica, a través de la argumentación y el debate, para llegar a consensos, (5) se debe propiciar un ambiente de cooperación, donde el cuerpo docente actúe como facilitador del aprendizaje a través del proyecto, y (6) el proceso de trabajo en ABP es un recorrido por fases, que busca establecer conexiones entre los fenómenos.

El ABP se define como un método de enseñanza en el cual los estudiantes adquieren conocimientos y habilidades al trabajar por un periodo prolongado investigando y respondiendo a una pregunta, problema o desafío auténtico, significativo y complejo [12], [16]. Los objetivos de aprendizaje de un proyecto incluyen los contenidos disciplinares del curso, su aplicación al proyecto y el desarrollo de habilidades tales como el pensamiento crítico, la comunicación, la autoorganización, la administración de las tareas, y la colaboración [17].

De acuerdo a la guía estándar para el aprendizaje basado en proyectos del *Buck Institute for Education* [16] y a su *Gold Standard Project Based Learning* [17], un curso basado en la metodología de ABP debe considerar los siguientes elementos de diseño del proyecto: (1) problema desafiante, (2) indagación continua, (3) autenticidad, (4) voz y voto de los estudiantes, (5) reflexión constante sobre el aprendizaje, (6) crítica y revisión constante, y (7) producto público. Asimismo, se recomiendan un conjunto de prácticas de enseñanza durante la aplicación de ABP [18]: (1) diseño y planificación en contexto, (2) gestión del proyecto, (3) alineamiento a los estándares y conocimientos disciplinares, (4) aprendizaje escalonado, (5) evaluación del aprendizaje, (6) construcción de la cultura de ABP y (7) participación y entrenamiento continuo.

III. TRABAJO RELACIONADO

En la literatura se han reportado múltiples experiencias del uso de ABP en cursos de Computación, algunas de las cuales se resumen a continuación.

Fernandez y Williamson [19] describen el uso de ABP en dos cursos de análisis, diseño e implementación de sistemas, y reportan lecciones aprendidas de su experiencia impartiendo estos cursos por 5 años. Los autores ofrecen recomendaciones sobre: el alcance del proyecto –que debe ser real–, la gestión de los equipos por parte de los docentes, la asignación de estudiantes a equipos –y mecanismos para cambiar la conformación inicial–, y el control que deben tener los estudiantes sobre su propia calificación en el proyecto.

McManus y Costello [20] reportan la aplicación de ABP en un curso-proyecto de graduación y en un programa de investigación de grado, siguiendo las recomendaciones del *Buck Institute for Education* [12], [17], [18]. En ambos casos,

se promueve la investigación por parte de los estudiantes y el aprendizaje fuera del ambiente tradicional del aula. Los principales hallazgos son que el enfoque de ABP lleva a los estudiantes a rendir al máximo debido a que se apropian del proyecto que eligen, y también ayuda a fomentar en los estudiantes el crecimiento de habilidades profesionales tales como gestión del tiempo, responsabilidad, y comunicación.

Srinivasa y Sowmya [21] reportan su experiencia de implementar ABP en un curso de Análisis de Datos e Internet de las Cosas (IoT) usando principios de ingeniería de software. Los autores señalan que el ABP juega un papel clave en la comprensión que logran los estudiantes de los principios de desarrollo de proyectos y sus prácticas en la industria de software. También indican que fomenta el pensamiento crítico, la resolución de problemas, y las habilidades de presentación en público y escritura de reportes.

Fioravanti et al. [22] combinan el enfoque de ABP con el de administración de proyectos en un curso de Ingeniería de Software. Los autores indican que el proyecto acerca a los estudiantes a la realidad del desarrollo de software en un contexto de negocios, donde se enfrentan con administradores y usuarios reales. Los autores reportan que estudiantes acogieron positivamente este enfoque pedagógico.

Otras experiencias incluyen el trabajo de Uvais [23] para enseñar Robótica, el de Tanaka et al. [24] para enseñar el desarrollo de requerimientos de software, y el de Romero et al. [25] en un curso de Graficación. La mayoría de ellos reportan beneficios similares a los ya mencionados.

Nuestro trabajo reporta la experiencia de usar ABP en cursos de Ingeniería de Software, Bases de Datos y Desarrollo de Aplicaciones para Dispositivos Móviles. Si bien el enfoque de ABP no es novedoso en sí mismo, su uso e implementación en diversos contextos es útil porque ofrece evidencia sobre las bondades y limitaciones del enfoque, y puede servir de base a otros docentes que deseen aplicar este enfoque en sus cursos. En nuestro caso, el contexto es novedoso ya que no encontramos literatura que reportara el uso de ABP en cursos de bases de datos o desarrollo móvil. La principal diferencia y contribución con respecto a trabajos previos es que se recogió la experiencia de dos docentes que implementaron el enfoque de ABP a lo largo de tres semestres, donde se experimentó con diferentes versiones de ABP y se evolucionó la metodología según las oportunidades de mejora identificadas.

IV. CONTEXTO

A. Modelo pedagógico de la carrera

El enfoque pedagógico de nuestra carrera parte de un conjunto de principios pedagógicos y epistémicos del constructivismo [26]: (1) la adquisición de conocimientos y valores es un proceso activo y de permanente elaboración, donde cada estudiante usa sus conocimientos previos para generar nuevos saberes. (2) Los aspectos cognoscitivo y afectivo (emociones) son esenciales en el proceso de construcción de saberes. (3) El aprendizaje implica al lenguaje en todas sus funciones: categorización, comunicación y coherencia social. (4) El desarrollo cognoscitivo es una actividad social: se aprende a través

de la interacción con otras personas y de la generación de soluciones conjuntas. (5) La adquisición de conocimientos es contextual e histórica: todo conocimiento debe hacer referencia a un contexto real.

En el contexto de nuestra carrera, un proyecto se concibe como un problema de contenido pedagógico donde [26]: (i) los estudiantes integran el conocimiento que ya tienen con nuevo conocimiento que adquieren bajo la guía del docente; (ii) los docentes asumen el papel de catalizadores del proceso formativo; (iii) hay fases identificables en el proceso formativo; (iv) se usa una metodología de gestión de proyectos.

B. Cursos

Los cursos de la carrera donde se implementaron las distintas modalidades de ABP fueron: (1) Curso CI-1312, Bases de Datos I, (2) Curso CI-2354, Desarrollo de Aplicaciones para Dispositivos Móviles y (3) Curso CI-1330, Ingeniería de Software I y su respectivo Laboratorio de Ingeniería de Software I (CI-1331). Las características de estos cursos y sus respectivos proyectos se detallan en la Tabla I.

C. Conocimientos previos

Los conocimientos previos de los estudiantes del curso de Bases de Datos I son esencialmente programación y estructuras de datos. Por otro lado, los conocimientos previos de los estudiantes del curso Desarrollo de Aplicaciones para Dispositivos Móviles son programación, estructuras de datos, bases de datos e ingeniería de software. Finalmente, para los cursos de Ingeniería de Software I y su Laboratorio, los conocimientos previos de los estudiantes son programación, estructuras de datos, y bases de datos.

D. Objetivos de aprendizaje

El objetivo general del curso Bases de Datos I es que los estudiantes desarrollen habilidades para diseñar, implementar, consultar y operar bases de datos relacionales, mediante estrategias que integren lo teórico y lo práctico.

El objetivo general del curso Desarrollo de Aplicaciones para Dispositivos Móviles es adquirir conocimientos y habilidades para el desarrollo de software nativo en distintos tipos de dispositivos móviles, a través de la realización de todas las tareas del ciclo de vida de desarrollo, desde el análisis, hasta la implementación, las pruebas y la publicación.

El objetivo general de los cursos Ingeniería de Software I y su Laboratorio es aplicar conceptos, métodos, técnicas, herramientas y estándares modernos de ingeniería de software en el desarrollo de aplicaciones que permitan obtener un proceso y producto de calidad, mediante estrategias de aprendizaje que integren lo teórico y lo práctico.

E. Metodología

La metodología del curso CI-1312 tuvo variaciones en el tiempo: en el 2017 se usó una versión *pura* de ABP, tomando como base el proceso de diseño de bases de datos y las fases típicas de ABP. Posteriormente, en el 2018 se usaron versiones *híbridas* de ABP, incorporando algunas prácticas ágiles para

la administración del proyecto. En el curso CI-2354 se usó una versión *híbrida* de ABP en ambos ciclos de 2017, con base en la metodología ágil Scrum [27], y en recomendaciones reportadas por trabajos previos en el área de ingeniería de software [28], [29]. En los cursos CI-1330 y CI-1331 se usó una adaptación de la metodología usada para CI-2354.

Por “metodología *híbrida* de ABP” nos referimos a aquella en la que el eje central del curso es el desarrollo del proyecto, pero se complementa con estrategias didácticas adicionales (tradicionales o no), para lograr los objetivos de aprendizaje del curso y del proyecto. Dichas estrategias van desde la ludificación de actividades asociadas al proyecto, pasando por el aprendizaje colaborativo y cooperativo, hasta clases magistrales, laboratorios, tutoriales y actividades guiadas. Estas son aplicadas por el docente según las necesidades emergentes de los estudiantes durante el desarrollo del proyecto. El uso de metodologías *híbridas* de ABP ya ha sido reportado en la literatura y recomendado particularmente en el contexto de las ingenierías [30]–[33].

V. LECCIONES APRENDIDAS

En esta sección consolidamos y analizamos las lecciones aprendidas de la aplicación de las distintas modalidades de ABP en nuestros cursos, según los elementos de diseño de proyectos y las prácticas de enseñanza del marco de trabajo propuesto por el *Buck Institute for Education* [16]–[18]. El análisis se basa en la experiencia de los docentes en el diseño y la implementación de ABP en los cursos, considerando los desafíos de la incorporación de distintas estrategias didácticas complementarias, y la utilización de las prácticas y metodologías ágiles, y su encaje con los principios de ABP durante los proyectos.

A. Elementos de diseño de un proyecto ABP

1) *Problema desafiante*: El proyecto debe resolver un problema significativo con un nivel de desafío acorde al nivel del curso y a los conocimientos de los estudiantes. Un problema interesante y retador (pero no intimidante) con el que los estudiantes se sientan identificados hace que el aprendizaje sea más significativo, puesto que tienen una necesidad real de saber algo que les sirve para resolver un problema. Esta característica del proyecto motiva a los estudiantes a ampliar sus conocimientos y desarrollar sus habilidades de forma proactiva para resolver el problema y responder a las necesidades de los interesados del proyecto (e.g., cliente).

Al diseñar el proyecto, deben considerarse los siguientes factores: el involucramiento de un cliente real o uno simulado (a partir del nivel de riesgo que se quiera manejar en el proyecto), la participación de todos los equipos en la resolución de un único proyecto de curso o cada equipo trabajando en un proyecto separado, y la heterogeneidad de conocimiento sobre las tecnologías utilizadas y los conocimientos previos de la disciplina, entre otros.

- *Lección 1*: El proyecto debe tener un nivel de complejidad (desafío) adecuado para los estudiantes.

TABLE I
DESCRIPCIÓN DE LOS PROYECTOS POR CURSO.

Id	BD-A	BD-B	BD-C	IS-A	IS-B	IS-C
Curso	CI-1312	CI-1312	CI-1312	CI-2354	CI-2354	CI-1330, CI-1331
Ciclo	II 2017	I 2018	II 2018	I 2017	II 2017	II 2018
Nivel	III año	III año	III año	IV año	IV año	III año
# estudiantes	19	24	10	20	15	25
Nombre del proyecto	Varios proyectos	Varios proyectos	Music-Shows (sistema de gestión de anuncios de conciertos musicales)	Campus, Servicios Universitarios (transporte, alimentación, bibliotecas, actividades sociales y académicas)	Campus, Servicios Universitarios (transporte, alimentación, bibliotecas, actividades sociales y académicas)	Reserva de Instalaciones Universitarias
Objetivo del proyecto	Diseñar e implementar un prototipo funcional de un sistema de base de datos relacional, que sea consultado y operado a través de una aplicación de software			Planificar, diseñar, codificar, probar e implementar una aplicación de acuerdo a las necesidades planteadas		Desarrollar una aplicación de software siguiendo procesos adecuados de planificación, análisis, diseño, implementación y pruebas
Porcentaje del proyecto en el curso	54%	34%	36%	30% y 20% en actividades aplicadas al proyecto	35% y 20% en actividades aplicadas al proyecto	50% de CI-1330 y 70% de CI-1331
Configuración de los equipos	Cada equipo desarrolla un proyecto distinto	Cada equipo desarrolla un proyecto distinto	Cada equipo desarrolla el mismo proyecto, de forma independiente	Un solo proyecto para todos los equipos. Equipos distribuidos	Un solo proyecto para todos los equipos. Equipos distribuidos	Un solo proyecto para todos los equipos. Equipos distribuidos
Tamaño de los equipos	4 equipos de 4 a 5 personas cada uno	5 equipos de 4 a 5 personas cada uno	3 equipos de 3 a 4 personas cada uno	4 equipos con 4-5 personas cada uno	3 equipos con 5 personas cada uno	5 equipos con 5 personas cada uno
Tipo de app	Desktop o web app	Desktop o web app	Desktop o web app	Móvil app nativa	Móvil app nativa	Web app
Cliente	Real, pero no se espera su puesta en producción	Real, pero no se espera su puesta en producción	Simulado por el docente, no se espera su puesta en producción	Simulado por el docente como dueño del producto, se espera su puesta en producción como prueba de concepto	Simulado con el docente como dueño del producto, se espera su puesta en producción como prueba de concepto	Real con el docente como dueño del producto, se espera su puesta en producción como una necesidad de la ECCI
Metodología	Metodología de ABP pura, basada en el proceso de diseño de bases de datos	Metodología híbrida de ABP, basada en el proceso de diseño de bases de datos	Metodología híbrida de ABP, incorporando principios ágiles	Metodología ágil Scrum con prácticas XP y otras prácticas ingenieriles	Metodología ágil Scrum con prácticas XP y otras prácticas ingenieriles	Metodología ágil Scrum con prácticas XP y otras prácticas ingenieriles
Herramienta de gestión de proyectos	Basecamp	Trello	Trello	Hojas de cálculo compartida para Scrum	Hojas de cálculo compartida para Scrum	Hojas de cálculo compartida para Scrum. Prueba de concepto con Jira en la iteración final
Configuración	Cada equipo administra sus artefactos y código, y gestiona su proyecto	Cada equipo administra sus artefactos y código, y gestiona su proyecto	Cada equipo administra sus artefactos y código, y gestiona su proyecto	Los equipos administran los artefactos y código (estrategia Git), y gestionan el proyecto en conjunto	Los equipos administran los artefactos y código (estrategia Git), y gestionan el proyecto en conjunto	Los equipos administran los artefactos y código (estrategia Git), y gestionan el proyecto en conjunto
Iteraciones	2 iteraciones de 7 semanas cada una	2 iteraciones de 6 semanas cada una	3 iteraciones de 4 semanas cada una	4 iteraciones de 4 semanas cada una	3 iteraciones de 4 semanas cada una	4 iteraciones de 3 semanas cada una (la primera iteración es esencialmente de conceptualización y planificación)
Tecnología base	Visual Studio, Windows Forms y SQL Server	Visual Studio, Windows Forms y SQL Server	Visual Studio, Windows Forms y SQL Server	Android Studio, BitBucket	Android Studio, BitBucket	Visual Studio, ASP.NET C# y SQL Server, JS y otras front end, BitBucket
Tipos de evaluación	Coevaluación, autoevaluación, y evaluación docente (el docente del curso y otro como interesado)	Coevaluación, autoevaluación, y evaluación docente (el docente del curso y otro como interesado)	Coevaluación, autoevaluación, y evaluación docente (el docente del curso)	Coevaluación, autoevaluación, y evaluación docente (el docente del curso)	Coevaluación, autoevaluación, y evaluación docente (el docente del curso)	Coevaluación, autoevaluación, y evaluación docente (el docente del curso, el cliente y otros docentes como interesados)

- *Lección 2:* los estudiantes deben sentirse identificados con el proyecto que están desarrollando.
- *Lección 3:* El docente debe gestionar el alcance del proyecto según el avance logrado en cada iteración.
- *Lección 4:* Un proyecto con un cliente real es más motivador para los estudiantes, pero aumenta el esfuerzo requerido para mitigar los riesgos del proyecto.
- *Lección 5:* La motivación del cliente puede ir disminuyendo si no se logra su involucramiento real en el desarrollo del proyecto.
- *Lección 6:* Un proyecto real probablemente requiera de varios equipos trabajando colaborativamente.

Si el proyecto es desarrollado colaborativamente por varios equipos de trabajo, el manejo de la dinámica intra- y entre-equipos se vuelve crucial. Los equipos podrían avanzar a distintas velocidades, aportando niveles de avance diferentes al proyecto. La sincronización se vuelve más compleja ya que existen dependencias y bloqueos entre equipos, los cuales deben resolverse para el avance del proyecto. La interacción entre los miembros de un equipo y entre equipos representa un reto importante desde la perspectiva de las habilidades blandas, al tener que manejar diferentes personalidades en la dinámica entre pares, intra-equipos y entre-equipos. En este caso y dependiendo del tamaño y la complejidad del proyecto, se recomienda utilizar algunos de los principios de los marcos de trabajo para escalar el tamaño de los proyectos ágiles tales como *Scaled Agile Framework (SAFe)* [34] y *Large-Scale Scrum (LeSS)* [35], entre otros.

Asimismo, mientras más presión añade el docente durante el desarrollo del proyecto, más probable es que se den situaciones que afecten la dinámica de los equipos (muchas de ellas generadas a partir de decisiones técnicas que afectan a todos los equipos). Otro detonante es el nivel de compromiso de los equipos y sus miembros con el proyecto. El docente debe intervenir tempranamente en cualquier conflicto, para apoyar a los equipos en la búsqueda de una solución. El docente debe involucrarse con la dinámica de los equipos, a fin de facilitar la creación de protocolos de convivencia intra- y entre- equipos.

- *Lección 7:* Todos los equipos trabajando en un único proyecto potencia el desarrollo de habilidades blandas, pero requiere inversión de tiempo adicional para coordinar y manejar las relaciones interpersonales.
- *Lección 8:* Mientras menor sea el nivel de conocimiento y la experiencia de los estudiantes, mayor será el soporte docente requerido. Y este soporte aumenta al trabajar colaborativamente en un único proyecto.
- *Lección 9:* El docente debe promover tempranamente la creación de protocolos de convivencia para las relaciones intra- y entre- equipos.
- *Lección 10:* En algunos casos, el docente debe “tomar el control” y redirigir los esfuerzos de los estudiantes para lograr un mejor aprovechamiento del tiempo.

2) *Indagación continua:* Los estudiantes participan en un proceso continuo de plantear preguntas, encontrar recursos, y aplicar los conocimientos adquiridos al proyecto. Este proceso

de indagación, como toda investigación, requiere tiempo y es iterativo. Los proyectos pueden incorporar diferentes fuentes de información, combinando búsquedas en libros o sitios web, con entrevistas de campo a expertos, proveedores de servicios o usuarios.

- *Lección 11:* El proceso de indagación requiere tiempo, es escalonado y puede darse a través de distintas fuentes de información. El docente debe controlar el tiempo de estas actividades de acuerdo a los hitos del proyecto y ofrecer herramientas a los estudiantes para mejorar la efectividad de sus procesos de indagación.

Debemos impulsar a los estudiantes a realizar indagación continua a lo largo del proyecto, para solucionar los retos que se les van presentando. Los docentes tenemos un papel protagonista en guiar a los estudiantes a encontrar la información veraz y confiable que necesitan. Sin embargo, en algunos casos los estudiantes pueden tomar un rol pasivo, en el que prefieren ser receptores del conocimiento del docente, que investigar por su cuenta, a partir de las necesidades del proyecto. Cuando se logra superar esta etapa, es interesante notar que empiezan a surgir coordinaciones entre los equipos para organizar sesiones colaborativas en las que comparten el conocimiento adquirido en sus procesos de indagación (tradicionalmente conocidos como *spikes* dentro de la metodología ágil de desarrollo).

- *Lección 12:* Desde las etapas iniciales del proyecto es necesario dejar claro que las actividades de indagación deben ser constantes y sostenidas a lo largo del proyecto.
- *Lección 13:* Los estudiantes podrían ofrecer resistencia a las situaciones de aprendizaje por indagación, dadas sus experiencias educativas previas de rol pasivo.

La indagación continua durante el proyecto implica que los docentes deben estar preparados para apoyar cualquier necesidad de nuevo conocimiento o habilidad, aunque no esté contemplado en la planificación de su curso. En algunos casos, deberán abordarse temas de forma anticipada para que los estudiantes puedan avanzar en el proyecto. En otros casos, deberá redirigirse la sed de conocimiento de los estudiantes, con el fin de permitir que los temas se estudien en el orden más adecuado para su comprensión. Frecuentemente estas necesidades de los estudiantes pueden satisfacerse de manera escalonada. En algunos casos, el docente podría tener la necesidad de cubrir contenidos con metodologías alternativas para garantizar el nivel de profundidad deseado.

- *Lección 14:* El docente debe estar preparado para atender las necesidades de conocimiento de los estudiantes y administrar un aprendizaje escalonado de los contenidos de la disciplina.

3) *Autenticidad del proyecto:* El proyecto debe involucrar la realización de tareas, el uso de herramientas, y la aplicación de estándares de calidad del mundo real. Además, debe relacionarse con inquietudes, intereses o problemas relevantes para los estudiantes. Un proyecto puede ser auténtico de varias maneras: (i) teniendo un contexto o impacto real (resuelve un problema que enfrentan las personas, o responde a una necesidad en su comunidad), (ii) involucrando el uso de

procesos, tareas y herramientas del mundo real y estándares disciplinares, y finalmente (iii) abordando las preocupaciones, intereses, culturas, identidades y problemas de los estudiantes.

Al diseñar el proyecto, debemos procurar su autenticidad, de manera que represente un problema de la vida real con el que los estudiantes se identifiquen, donde se usen prácticas, métodos, técnicas y herramientas tecnológicas actuales. Los estudiantes se motivan cuando saben que están empleando las tecnologías y prácticas ingenieriles vigentes en la industria, pues esto les permitirá incorporarse más fácilmente al campo profesional.

- *Lección 15:* El proyecto debe aplicar métodos y prácticas de la disciplina, vigentes en la práctica profesional.

4) *Voz y voto de los estudiantes:* Es necesario que los estudiantes participen en la toma de decisiones del proyecto, por ejemplo, podrían decidir qué preguntas generar, cuáles recursos usar, cuáles tareas y roles asumir, cuáles herramientas emplear, y hasta qué producto crear. Tener voz y voto hace que los estudiantes se apropien del proyecto, tengan mayor compromiso y aprendan más. Los estudiantes deben asumir este rol protagónico en el proyecto y los docentes deben impulsarlos, dándoles cada vez más responsabilidad pero tratando de mantener los aspectos clave del proyecto bajo control.

El uso de las metodologías ágiles obliga a los estudiantes a analizar y mejorar continuamente el proceso, incluyendo buenas prácticas ingenieriles que les generen valor para lograr el éxito del proyecto. Esto hace que cada estudiante tenga un rol activo pues debe plantear, junto con sus compañeros de equipo, las acciones concretas de mejora para cada iteración. Los equipos auto-organizados con autoridad para tomar decisiones son un aspecto esencial en las metodologías ágiles, y los docentes lo deben impulsar como parte de los principios básicos del proyecto.

- *Lección 16:* Los estudiantes muestran mayor compromiso cuando participan en la toma de decisiones.
- *Lección 17:* La asignación de responsabilidades a los estudiantes debe incrementarse de forma gradual.
- *Lección 18:* Las metodologías ágiles impulsan a los estudiantes a tener un rol activo en el proyecto y a tomar decisiones sobre las acciones de mejora de su proceso.

5) *Reflexión constante sobre el aprendizaje:* A lo largo de un proyecto, los estudiantes y los docentes deben reflexionar sobre lo que están aprendiendo y cómo lo están aprendiendo. La reflexión puede ocurrir informalmente, como parte del diálogo en el aula, pero también debe ser una parte explícita de los instrumentos del proyecto. La reflexión sobre el conocimiento adquirido ayuda a los estudiantes a consolidar su aprendizaje y a pensar cómo pueden aplicarlo en otros contextos. La reflexión sobre el desarrollo de sus habilidades les ayuda a interiorizar su significado y a establecer metas de crecimiento. Reflexionar sobre la ejecución del proyecto ayuda a los estudiantes a decidir cómo podrían abordar su próximo proyecto.

Los docentes debemos crear espacios de reflexión (retrospectiva) a lo largo de todo el proyecto. Las metodologías

ágiles incorporan sesiones de retrospectiva al final de cada iteración, donde los equipos discuten sobre el proceso seguido y cómo se puede mejorar, incluyendo las prácticas ingenieriles aplicadas, las actitudes de los estudiantes, la dinámica de los equipos, los resultados de las indagaciones realizadas y su aplicación en la solución del problema, la calidad del producto creado, la negociación con el cliente, el seguimiento y control del proyecto, los obstáculos encontrados y las estrategias usadas para superarlos. Estas sesiones de reflexión requieren inversión de tiempo por parte de los estudiantes, los docentes, e incluso los clientes.

Un aspecto importante de la reflexión es el conocimiento de sí mismos y la toma de consciencia sobre sus fortalezas y debilidades. En esto los docentes pueden apoyar a sus estudiantes facilitándoles un *test* de personalidad que sirva para reflexionar sobre sus actitudes, debilidades y fortalezas, permitiéndoles establecer dinámicas exitosas con sus pares. En nuestro caso, los docentes usaron el test de personalidad MBTI (*Myers-Briggs Type Indicator*) [36].

- *Lección 19:* Las metodologías ágiles promueven la reflexión mediante las sesiones de retrospectiva en cada iteración.
- *Lección 20:* Los docentes deben proveer herramientas para que los estudiantes se autoconozcan, y a partir de la reflexión sobre su personalidad, puedan establecer dinámicas exitosas intra-equipos.

6) *Crítica y revisión constante:* Los estudiantes dan, reciben y aplican retroalimentación constantemente con miras a mejorar sus procesos y productos. El sello del ABP es un trabajo de alta calidad, y esto se logra a través de la crítica y la revisión constantes. Los docentes deben enseñar a dar comentarios constructivos (y a recibirlos), mediante rúbricas, modelos y protocolos de revisión. Además de los pares y los docentes, expertos externos (clientes) pueden contribuir el proceso de crítica, brindando un punto de vista auténtico y real.

Dentro de las actividades del proyecto, los docentes debemos considerar puntos de control para revisar la calidad del producto y su congruencia con las necesidades del cliente. Además, debemos planificar sesiones de retrospectiva donde se analice el proceso y se planteen acciones para mejorar la siguiente iteración. Otras actividades de crítica y revisión que podemos fomentar son las revisiones entre pares (sin la intervención directa del docente), y la revisión constante por parte del cliente.

En algunos casos, puede que las críticas no sean bien recibidas o que los ambientes no sean propicios (seguros) para realizarlas. Esto debe ser abordado por los docentes y generalmente requiere de un cambio de mentalidad por parte de los estudiantes (y a veces los docentes mismos) para acoger la crítica como una oportunidad de mejora y no necesariamente como una evaluación sumativa, donde la nota se vea afectada. Se deben definir un conjunto de reglas de aspectos técnicos y de coordinación entre los participantes con las cuales se puedan generar compromisos de cumplimiento durante el desarrollo de las iteraciones del proyecto.

- *Lección 21:* Las metodologías ágiles incorporan actividades de revisión y reflexión (tanto del producto como del proceso) durante las iteraciones, lo cual se alinea perfectamente con los principios de ABP.
- *Lección 22:* Los docentes deben participar en las sesiones de revisión y reflexión, lo cual incrementa la inversión de tiempo y la carga asociada al proyecto.
- *Lección 23:* Los docentes deben proveer herramientas para que los estudiantes realicen reuniones de revisión y reflexión productivas.
- *Lección 24:* Los docentes deben propiciar espacios seguros para las actividades de revisión y reflexión.

7) *Producto público:* La creación de un producto público aumenta la motivación y fomenta el trabajo de alta calidad (nadie quiere verse mal en público). Al compartir públicamente el producto creado, la dimensión social del aprendizaje se vuelve más importante. Esto crea una “comunidad de aprendizaje”, donde los estudiantes y los docentes discuten lo que se está aprendiendo, cómo se está aprendiendo, cuáles son los estándares de desempeño aceptables, y cómo se puede mejorar el desempeño.

Los docentes debemos procurar la participación de los distintos interesados del proyecto (clientes, usuarios, etc.) en las presentaciones y revisiones que realicen los estudiantes sobre el avance del proyecto, puesto que esto impulsa a los estudiantes a construir un producto funcional de alta calidad. La perspectiva de un externo (que puede ser otro docente o interesados del proyecto) es valiosa porque permite generar escenarios realistas donde los estudiantes deben analizar críticamente sus soluciones y responder a cuestionamientos de índole pragmática (e.g., qué tan usable es el producto, qué tanto valor le genera al cliente, etc.) Si los docentes deciden involucrar a un cliente real, deben valorar si los estudiantes interactuarán directamente con el cliente, o si el docente funcionará como intermediario (esto dependerá del nivel de los estudiantes). En cualquier caso, los docentes deben controlar que el cliente no cambie significativamente el rumbo del proyecto, pues de lo contrario podría afectar el logro de los objetivos de aprendizaje del curso.

- *Lección 25:* Un producto público incrementa la motivación de los estudiantes y la calidad de los resultados.
- *Lección 26:* El nivel de independencia que se elija para la interacción entre el cliente y los estudiantes depende del nivel del curso y de la experiencia de los estudiantes.

B. Prácticas de enseñanza de ABP

1) *Diseño y planificación en contexto:* Los docentes diseñan un proyecto de acuerdo al contexto y a sus estudiantes, planean su implementación desde el lanzamiento hasta la culminación, permitiendo que los estudiantes tengan voz y voto en algunas de las decisiones. El alcance del proyecto se debe adaptar a las necesidades del curso y al nivel de conocimiento de los estudiantes.

El diseño y la planificación del proyecto conllevan decisiones sobre el producto público y la autenticidad (e.g., si existe un cliente real, o no, si el docente actúa como mediador

o no, etc.), aspectos que influyen significativamente en el proyecto, y deben analizarse a la luz de los beneficios y riesgos asociados. Por ejemplo, la participación de un cliente real trae consigo riesgos que no existen en un ambiente controlado, pero acerca más a los estudiantes a la realidad profesional. Otra consideración importante de diseño es la cantidad de iteraciones a realizar, pues cada iteración adicional permite obtener un incremento en la funcionalidad del producto pero a la vez genera más presión en los estudiantes y carga de trabajo para los docentes. También se debe considerar cómo será la configuración de los equipos: si todos los equipos trabajarán juntos en un único proyecto, o cada equipo desarrollará un proyecto diferente, o cada equipo hará el mismo proyecto (de forma independiente), u otra combinación. Esta decisión impacta las dependencias y bloqueos que se den durante el proyecto, y el esfuerzo requerido en labores de coordinación. Finalmente, se debe decidir sobre la metodología de desarrollo, las prácticas ingenieriles, métodos, tecnologías y herramientas a utilizar en el proyecto, pues todo esto afecta el esfuerzo requerido por los estudiantes para obtener el producto final.

- *Lección 27:* La planificación del proyecto debe ser flexible para responder a los cambios o emergentes que surjan durante su desarrollo.

2) *Gestión del proyecto:* Los docentes trabajan junto con los estudiantes para organizar las tareas y los cronogramas, establecer puntos de control, definir fuentes de información, crear los productos y hacerlos públicos.

Los docentes hacen una planificación general de las iteraciones del proyecto, pero en cada iteración se definen los siguientes aspectos: el objetivo de la iteración, los compromisos tanto a nivel de proceso como de producto entregable (intra- y entre- equipos), las reglas de interacción entre los miembros de los equipos y entre los equipos, los canales de comunicación y el tiempo de respuesta esperado, las estrategias y herramientas para la administración de versiones de los artefactos del proyecto, las formas de seguimiento y control de avance, los controles de calidad, las estrategias de investigación y las fuentes clave de información. Asimismo, se planifican y coordinan las sesiones de revisión técnica, las sesiones de revisión con el cliente (perspectiva del negocio), las sesiones de retrospectiva y la estrategia para aplicar las acciones de mejora continua en las siguientes iteraciones.

- *Lección 28:* Una metodología de administración de proyectos flexible y ágil que permita un proceso incremental iterativo de desarrollo es esencial para el éxito.
- *Lección 29:* Los estudiantes deben tener la oportunidad de gestionar su proyecto, bajo la guía del docente.

3) *Alineamiento a estándares y conocimientos disciplinares:* Los docentes usan estándares disciplinares en el proyecto y se aseguran de que este abarque los conocimientos esenciales del área. El proyecto debe alinearse con los contenidos declarativos y procedimentales que el curso busca desarrollar. Cuando los docentes planifican los productos por iteración, es necesario que aclaren a los estudiantes el nivel de profundidad con el que se espera que dominen los contenidos,

para que puedan guiar sus procesos de indagación. En algunos casos, si el conocimiento adquirido no es uniforme entre los estudiantes, podría necesitarse que el docente aplique estrategias para nivelar los conocimientos. Para apoyar a los estudiantes rezagados, el docente debe potenciar el aprendizaje colaborativo, con ayuda de los estudiantes más avanzados.

Los docentes deben asegurarse de que los estudiantes estén asimilando gradualmente los conocimientos clave y entendiendo los procesos disciplinares, de manera que los puedan aplicar al proyecto.

- *Lección 30:* El docente procurar que los estudiantes adquieran los conocimientos disciplinares y desarrollen las habilidades necesarias.

Uno de los principales retos al trabajar con las metodologías de ABP, es que podamos asegurar que cada estudiante está aprendiendo los conocimientos claves de la disciplina, con el nivel de profundidad requerida, con la capacidad de aplicar ese conocimiento para resolver un problema real utilizando procesos de calidad y generando productos de calidad que respondan a las necesidades del cliente. Es importante notar que no solo es requerido evaluar el desempeño de los equipos de trabajo sino también es requerido determinar los medios para evaluar el conocimiento individual.

4) *Aprendizaje escalonado:* Los docentes aplican distintas estrategias didácticas para apoyar el proceso de aprendizaje escalonado de los estudiantes que les permita alcanzar los objetivos del proyecto. Debemos aplicar estrategias que permitan a los estudiantes ir construyendo nuevos conocimientos sobre bases sólidas disciplinares. Todo esto de manera gradual y escalonada, donde el proyecto durante su desarrollo, cada vez impulsa la necesidad de aplicar nuevos conocimientos que los estudiantes deben investigar y adquirir. Por tanto, las iteraciones del proyecto deben ir incrementando paulatinamente la complejidad de los entregables y durante su desarrollo se pueden ir incorporando nuevas prácticas, técnicas y metodologías ingenieriles, siempre desde la perspectiva de que generen valor para el objetivo del proyecto. Estas se deben alinear con las actividades estructurales del desarrollo de proyectos de software e ir incorporando distintas estrategias didácticas que permitan al estudiante alcanzar los objetivos del proyecto. Para que los estudiantes adquieran el conocimiento de manera escalonada, primero les mostramos cómo realizar una tarea particular, luego los apoyamos con prácticas guiadas, tutoriales y actividades supervisadas para guiarlos en el proceso de construcción de conocimiento y la aplicación del mismo en la resolución de problemas; finalmente, les asignamos tareas para que las realicen sin supervisión y que luego validamos en sesiones de revisión de la calidad de los entregables (esto desde la perspectiva de calidad del producto y del proceso).

Tenemos que considerar que nuestros estudiantes aprenden mejor haciendo, por lo que cualquier actividad aplicada, lúdica o de "manos a la obra", puede potenciar el aprendizaje. En muchos casos, esto debe ser complementado con sesiones cortas de entrenamiento especializado para que los estudiantes tengan claro cómo realizar estas actividades y que puedan

obtener el producto esperado. Todas estas estrategias deben incluir puntos de control sobre el aprendizaje de los estudiantes (tanto evaluaciones formativas como sumativas) que permitan dar retroalimentación temprana para apoyarlos en el desarrollo del proyecto. Las sesiones de revisión se pueden dar individualmente o entre- e intra- equipos de trabajo.

- *Lección 31:* Muchas veces los docentes deben combinar otras estrategias didácticas para garantizar que los estudiantes están obteniendo un conocimiento unificado y con el nivel de profundidad requerido.
- *Lección 32:* El aprendizaje colaborativo es esencial en la metodología de ABP.
- *Lección 33:* El aprendizaje escalonado se da cuando los docentes asignan gradualmente más responsabilidades a los estudiantes. Primero les mostramos cómo hacer una tarea, luego los guiamos en el proceso, y finalmente les asignamos tareas para que las realicen sin supervisión y validamos los resultados en sesiones de revisión.

5) *Evaluación del aprendizaje:* Los docentes deben aplicar evaluaciones formativas y sumativas del conocimiento adquirido, su entendimiento y el desarrollo de habilidades para el éxito. Asimismo, deben realizar evaluaciones individuales y en pares. Las evaluaciones deben considerar los contenidos declarativos, procedimentales y actitudinales de acuerdo a los objetivos de aprendizaje del curso y deben determinar el entendimiento del conocimiento clave y el desarrollo de las habilidades necesarias para aplicar estos conocimientos para la resolución de los problemas asociados al proyecto. Las evaluaciones deben incorporar evaluaciones del docente hacia los estudiantes, autoevaluaciones, coevaluaciones y evaluaciones en pares.

- *Lección 34:* La evaluación del conocimiento adquirido y las destrezas desarrolladas por los estudiantes es de los aspectos más retadores en el ABP. Debemos encontrar el balance entre las evaluaciones formativas y las sumativas, y las evaluaciones individuales y grupales.
- *Lección 35:* Se recomienda la realización de sesiones de asesoría técnicas (formativas) y de revisión técnica del producto y el proceso (que se pueden incluir como evaluaciones sumativas) en las cuales se pueda analizar con profundidad como los estudiantes han aplicado el conocimiento adquirido en el proyecto.

6) *Construcción de la cultura de ABP:* Los docentes explícitamente e implícitamente deben promover una cultura donde los estudiantes son independientes, auto organizados, trabajan para lograr su crecimiento, realizan indagación sostenida, tiene espíritu de equipo, y mantienen atención constante a la calidad. Durante el desarrollo de un curso utilizando la metodología de ABP, los docentes promueven estos principios e intentan modificar costumbres asociadas a cómo tradicionalmente hemos desarrollado los procesos de enseñanza y aprendizaje (basados en clases magistrales y libros de contenidos).

La metodología de administración de proyectos utilizada debe alinearse con estos principios de ABP para promover

estos valores. En el caso de la ingeniería de software, las metodologías ágiles se alinean muy bien al trabajo colaborativo, que promueve el espíritu de equipo, la indagación constante, una visión compartida del producto, el control y monitoreo constante, la agilidad para responder al cambio, la revisión constante desde la perspectiva del cliente para generar valor, la atención a la calidad del producto y del proceso, y los procesos de mejora continua.

- *Lección 36:* Es posible que haya resistencia por parte de estudiantes que esperan metodologías tradicionales de enseñanza-aprendizaje. El docente debe apoyarlos en esa transición hacia la metodología ABP y mitigar la frustración que les pueda causar mediante una combinación de estrategias didácticas.
- *Lección 37:* Las metodologías ágiles fomentan el desarrollo de la cultura de ABP y viceversa.

7) *Participación y entrenamiento continuo por parte de los docentes:* Los docentes deben participar activamente de las actividades de aprendizaje junto con los estudiantes, e identificar cuándo se requiere el desarrollo de nuevas habilidades (o mejoramiento de las existentes), la redirección, el estímulo y la celebración. Para que el docente pueda desempeñar este rol activo durante la aplicación de ABP, se requiere tiempo dentro y fuera del aula. Un docente debe encontrar los espacios para cuestionar a los estudiantes sobre las decisiones que toman con respecto al proyecto, solicitar justificaciones técnicas, guiarlos en las fuentes de información que están utilizando, explorar soluciones alternativas, entre muchas otras. Durante este proceso, debe saber escuchar a los estudiantes sin juzgar, mostrar empatía hacia los problemas que los estudiantes están afrontando, generar espacios para la reflexión y análisis, y guiar a los equipos para encontrar soluciones que repondan al objetivo del proyecto, mediante retroalimentación oportuna.

En este contexto, es importante impulsar el uso de reglas de convivencia y protocolos que les permitan mejorar la dinámica de los equipos, impulsarlos a tomar y aceptar sus responsabilidades y finalmente, inculcarles una cultura de mejora continua. También es importante determinar cómo durante el proyecto, se pueden ir asignando cada vez mayores responsabilidades sobre las decisiones del mismo. Finalmente, debemos crear una cultura de trabajo en equipo, donde el docente es parte del equipo y donde se dé un reforzamiento positivo para los logros alcanzados por parte de todos los miembros y la retroalimentación continua y respetuosa hacia las cosas que no están saliendo bien en el proyecto pero para las cuales tomamos acciones para mejorar en las siguientes iteraciones. Para todo lo anterior, las evaluaciones formativas son esenciales.

- *Lección 38:* El docente debe involucrarse en el proceso y ser uno más del equipo para saber lo que está sucediendo dentro de los equipos y con el producto.
- *Lección 39:* El docente debe estar atento a identificar momentos en los que debe apoyar la construcción de conocimiento y de habilidades, encausando el rumbo del proyecto. Asimismo, debe generar estímulos positivos

cuando los estudiantes hacen las cosas bien, y celebrar los pequeños éxitos que van alcanzando.

VI. DISCUSIÓN

Como docentes, esperamos que los estudiantes mantengan el interés y la motivación en el proceso de enseñanza-aprendizaje que desarrollamos en nuestros cursos. Por su parte, muchos de nuestros estudiantes esperan desarrollar proyectos que aporten soluciones a problemas de la vida real. Estos aspectos son difíciles de conciliar y representan un desafío en cursos de carrera (especialmente los obligatorios), por los riesgos que conlleva desarrollar un proyecto de esa envergadura en tan corto tiempo, que abarque todos los contenidos declarativos, procedimentales y actitudinales del curso.

Al planificar y diseñar un curso bajo la metodología de ABP, debemos tener flexibilidad para responder al cambio constante inherente a proyectos de desarrollo de software. Para lograr esto, las metodologías utilizadas deben dar espacio para sesiones de planificación, refinamiento de requerimientos, seguimiento y control, revisión del producto desde la perspectiva del cliente, retrospectiva sobre el proceso, y revisiones técnicas que permitan validar el cumplimiento de las prácticas ingenieriles y los estándares de calidad. Durante las iteraciones se deben realizar sesiones de asesoría técnica (formativas) y sesiones de revisión técnica del producto y el proceso (que se pueden incluir como evaluaciones sumativas). Estas sesiones pueden ser entre- e intra- equipos de trabajo y deben contemplar los aspectos clave del proceso y del producto.

Con base en nuestra experiencia, consideramos que las metodologías ágiles encajan muy bien con los principios de ABP. También recomendamos el uso de metodologías *híbridas* de ABP, donde el desarrollo del proyecto es el eje central del curso, pero se complementa con estrategias didácticas adicionales para alcanzar tanto los objetivos del proyecto como los objetivos de aprendizaje del curso.

VII. CONCLUSIONES

El marco de trabajo del *Buck Institute for Education* [16]–[18], que incluye elementos de diseño y prácticas de enseñanza, es una guía que puede orientar a los docentes en la implementación del ABP, ya que sus componentes son suficientemente generales para ser adaptados a las necesidades de diversos cursos. Asimismo, las metodologías ágiles se alinean muy bien con los principios de ABP, por lo que recomendamos su uso. Adicionalmente, las metodologías de ABP *híbridas* que contemplen el uso de estrategias didácticas complementarias permiten apoyar la transición hacia modelos pedagógicos constructivistas, reduciendo la potencial resistencia por parte de estudiantes y docentes a adoptar ABP.

Los mayores beneficios de usar ABP incluyen la alta motivación de los estudiantes y el desarrollo natural de habilidades blandas como trabajo colaborativo y cooperativo, administración del tiempo y de tareas, resolución de conflictos y comunicación efectiva. Por otro lado, los principales retos al implementar ABP incluyen el diseño de la evaluación de los aprendizajes (que considere aspectos técnicos, habilidades

blandas, valoraciones individuales y de pares); la demanda en tiempo asociada a la retroalimentación continua hacia los estudiantes; y el logro de los objetivos de aprendizaje del curso mediante un proyecto desafiante y realista.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por la Vicerrectoría de Docencia y la Escuela de CC. de la Computación e Informática, a través de los proyectos PD-CI-1233-2016 y PD-CI-1911-2018. Agradecemos a los docentes y estudiantes que nos brindaron retroalimentación valiosa durante la aplicación del ABP.

REFERENCES

- [1] P. J. Denning, "Educating a new engineer," *Communications of the ACM*, vol. 35, no. 12, pp. 82–97, 1992.
- [2] G. Ford, "A progress report on undergraduate software engineering education," Carnegie-Mellon University's Software Engineering Institute, Pittsburgh, PA, Tech. Rep., 1994.
- [3] A. Radermacher, "Evaluating the gap between the skills and abilities of senior undergraduate computer science students and the expectations of industry," Ph.D. dissertation, North Dakota State University, 2012.
- [4] A. Radermacher, G. Walia, and D. Knudson, "Investigating the skill gap between graduating students and industry expectations," in *Companion Proceedings of the 36th international conference on software engineering*. ACM, 2014, pp. 291–300.
- [5] M. C. Bastarrica, D. Perovich, and M. M. Samary, "What can students get from a software engineering capstone course?" in *2017 IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering: Software Engineering Education and Training Track (ICSE-SEET)*, 2017, pp. 137–145.
- [6] V. Garousi, G. Giray, E. Tuzun, C. Catal, and M. Felderer, "Closing the gap between software engineering education and industrial needs," *IEEE Software*, 2019.
- [7] K. Gary, "Project-based learning," *Computer*, vol. 48, no. 9, pp. 98–100, Sep. 2015.
- [8] B. Johnson and R. Ulseth, "Professional competency attainment in a project based learning curriculum: A comparison of project based learning to traditional engineering education," in *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*, Oct 2014, pp. 1–4.
- [9] B. Johnson, R. Ulseth, C. Smith, and D. Fox, "The impacts of project based learning on self-directed learning and professional skill attainment: A comparison of project based learning to traditional engineering education," in *2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, Oct 2015, pp. 1–5.
- [10] A. Martínez-Monés, E. Gómez-Sánchez, Y. A. Dimitriadis, I. M. Jorrín-Abellán, B. Rubia-Avi, and G. Vega-Gorgojo, "Multiple case studies to enhance project-based learning in a computer architecture course," *IEEE Transactions on Education*, vol. 48, no. 3, pp. 482–489, 2005.
- [11] C.-Y. Chen and P. P. Chong, "Software engineering education: A study on conducting collaborative senior project development," *Journal of systems and Software*, vol. 84, no. 3, pp. 479–491, 2011.
- [12] B. I. for Education, "What is pbl?" [Online]. Available: <https://www.pblworks.org/what-is-pbl>
- [13] A. Marras, *Canadian Journal of Philosophy*, vol. 13, no. 2, pp. 277–291, 1983. [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/40231320>
- [14] M. Aguzzi, *Técnicas para la construcción de estrategias: Fomento de Atributos Blando*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Universidad de Costa Rica, 2017.
- [15] E. Zúñiga, *Taller Diseño Curricular y Didáctico por Proyectos*. Centro de Evaluación Académica, Universidad de Costa Rica, 2017.
- [16] T. Markham, *Project based learning handbook: A guide to standards-focused project based learning for middle and high school teachers*. Buck Institute for Education, 2003.
- [17] B. I. for Education, "Gold standard pbl: Essential project design elements." [Online]. Available: <https://www.pblworks.org/blog/gold-standard-pbl-essential-project-design-elements>
- [18] —, "Gold standard pbl: Project based teaching practices." [Online]. Available: <https://www.pblworks.org/what-is-pbl/gold-standard-teaching-practices>
- [19] E. Fernandez and D. M. Williamson, "Using project-based learning to teach object oriented application development," in *Proceedings of the 4th Conference on Information Technology Curriculum*, ser. CITC4 '03. New York, NY, USA: ACM, 2003, pp. 37–40. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/947121.947130>
- [20] J. W. McManus and P. J. Costello, "Project based learning in computer science: A student and research advisor's perspective," *J. Comput. Sci. Coll.*, vol. 34, no. 3, pp. 38–46, Jan. 2019. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=3306465.3306473>
- [21] K. G. Srinivasa and S. B. J., "Project based learning for internet of things and data analytics: Experience report of learning from et601x," in *2016 IEEE Eighth International Conference on Technology for Education (T4E)*, Dec 2016, pp. 262–263.
- [22] M. L. Fioravanti, B. Sena, L. N. Paschoal, L. R. Silva, A. P. Allian, E. Y. Nakagawa, S. R. Souza, S. Isotani, and E. F. Barbosa, "Integrating project based learning and project management for software engineering teaching: An experience report," in *Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*. New York, NY, USA: ACM, 2018, pp. 806–811.
- [23] U. Qidwai, "Fun to learn: Project-based learning in robotics for computer engineers," *ACM Inroads*, vol. 2, no. 1, pp. 42–45, Feb. 2011. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1929887.1929904>
- [24] Y. Tanaka, H. Iida, and Y. Takemura, "A manga-driven system requirements development pbl exercise," in *Proceedings of the 2Nd International Workshop on Software Engineering Education for Millennials*, ser. SEEM '18. New York, NY, USA: ACM, 2018, pp. 80–85. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/3194779.3194788>
- [25] M. Romero, B. Thuresson, C. Peters, F. Kis, J. Coppard, J. André, and N. Landazuri, "Augmenting pbl with large public presentations: A case study in interactive graphics pedagogy," in *Proceedings of the 2014 Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*. New York, NY, USA: ACM, 2014, pp. 15–20.
- [26] E. de Ciencias de la Computación e Informática, "Nuevo plan de estudios de la carrera de bachillerato en computación," Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, Reporte técnico, 2016.
- [27] A. Alliance, "Agile glossary: Scrum." [Online]. Available: <https://www.agilealliance.org/glossary/scrum/>
- [28] E. Teiniker, S. Paar, and R. Lind, "A practical software engineering course with distributed teams," in *2011 14th International Conference on Interactive Collaborative Learning*, Sep. 2011, pp. 195–201.
- [29] G. Rodriguez, A. Soria, and M. Campo, "Supporting assessment of practices in software engineering courses," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 13, no. 9, pp. 3142–3148, Sep. 2015.
- [30] E. Ambikairajah, T. Thiruvanan, and R. Eaton, "Enhancement of traditional mode of teaching based on the experience of project-based learning," in *2013 IEEE 8th International Conference on Industrial and Information Systems*, Dec 2013, pp. 665–670.
- [31] J. C. Perrenet, P. A. J. Bouhuijs, and J. G. M. M. Smits, "The suitability of problem-based learning for engineering education: theory and practice," *Teaching in Higher Education*, vol. 5, no. 3, pp. 345–358, 2000.
- [32] H. R. Maier, "A hybrid just-in-time/project-based learning approach to engineering education," in *Proceedings of the 19th annual conference of the Australasian Association for Engineering Education: to industry and beyond*, 2008.
- [33] P. A. Kirschner, J. Sweller, and R. E. Clark, "Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching," *TEducational Psychologist*, vol. 41, no. 2, pp. 75–86, 2006.
- [34] I. Scaled Agile, "Scaled agile framework (safe)." [Online]. Available: <https://www.scaledagileframework.com/>
- [35] T. L. C. B.V., "Less (large-scale scrum) framework." [Online]. Available: <https://less.works/>
- [36] V. Rodríguez Montequín, J. Mesa Fernández, J. Villanueva Balsera, and A. García Nieto, "Using mbti for the success assessment of engineering teams in project-based learning," *Int J Technol Des Educ*, 2013.