

Cerrando la brecha entre la teoría y el aprendizaje activo: un estudio de caso de aprendizaje basado en proyectos en el curso introducción a ciencia e ingeniería de materiales

Henry A. Colorado, Elkin Gutiérrez-Velásquez and Nancy Ballesteros

Resumen — La presente investigación es un estudio de caso de la metodología de aprendizaje basado en proyectos (ABP) aplicada a uno de los cursos básicos de ingeniería más difundidos: introducción a la ciencia e ingeniería de materiales. El proyecto se realizó con estudiantes de primer año de la carrera de Ingeniería Mecánica. Para esto, parte de la clase teórica se redujo al 40 % de un proyecto multidisciplinario que requería producir bastones y muletas para personas con movilidad limitada utilizando materiales económicos y materiales de desecho sólido. Los estudiantes que participaron en este proyecto diseñaron, probaron y evaluaron el producto final de los demás. Además, los alumnos presentaron un informe técnico con una revisión bibliográfica ampliada que incluía información de la pieza fabricada. A diferencia de otros estudios de ABP, el instructor evaluó el progreso de los estudiantes en cuatro momentos diferentes a lo largo del semestre, a través de un proceso de evaluación sumativa en el que se certificó, a través de una calificación, de acuerdo con el aprendizaje desarrollado durante el proceso de mediación con los estudiantes. Se realizó una encuesta a estudiantes, miembros de la facultad, profesionales y expertos locales en las piezas fabricadas para evaluar la estética y la innovación de las piezas fabricadas. Una organización sin fines de lucro también participó en la sensibilización de los estudiantes para brindar mejores soluciones a las personas con varias presentaciones orales durante el tiempo de clase. Para evaluar la efectividad del método ABP, se comparó el curso de Ingeniería Mecánica con otro de enseñanza tradicional, donde la comparación se basó en los mismos exámenes administrados a ambos grupos de estudio. El método implementado en este estudio ha demostrado ser una buena estrategia para la enseñanza de cursos de ingeniería de materiales, permitiendo a los estudiantes participar en proyectos interdisciplinarios. A partir de esta experiencia, se concluye que es factible implementar métodos activos como alternativa a los cursos impartidos utilizando únicamente métodos tradicionales.

H. A. Colorado Laboratorio CCComposites, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 N°. 52-21, Medellín, Colombia (e-mail: henry.colorado@udea.edu.co).

E. Gutiérrez-Velásquez Fundación Universitaria Los Libertadores, Bogotá, Colombia (e-mail: elkin.gutierrez@libertadores.edu.co).

N. Ballesteros Mount Saint Mary's University, Los Angeles, CA, USA (e-mail: nballesteros@msmu.edu).

Palabras Clave: aprendizaje activo, ciencia e ingeniería de materiales, aprendizaje basado en proyectos (ABP), diseño de experiencias de aprendizaje.

I. INTRODUCCIÓN

Hay un interés creciente en el campo de la ingeniería para implementar un enfoque de enseñanza que permita a los estudiantes participar en proyectos que combinen teorías aprendidas en un salón de clases y aplicarlas a problemas del mundo real, es decir, en permitir que los estudiantes vean la conexión del material aprendido en clase con algo existente. No solo es evidente el interés por resolver los problemas mundiales dentro de un salón de clases, sino también dentro de la sociedad, especialmente entre la generación más joven. En muchos países, por ejemplo, hay una cantidad significativa de personas con movilidad limitada que no tienen acceso a un dispositivo comercial que solucione su necesidad. Hoy en día, gran parte de los problemas de la educación son consecuencia de la concepción de la memoria imperante en los sistemas educativos actuales, lo que trae como consecuencia que los estudiantes no sean capaces de adquirir las competencias y habilidades necesarias para desarrollar sus habilidades académicas. Esto no significa que se deba mantener un nivel más bajo de demanda. El trabajo académico debe ser significativo y práctico para ser motivador, pero el nivel de exigencia de los estudiantes debe ser alto.

Dados los problemas globales que hay que enfrentar en la vida cotidiana, es de suma importancia que los educadores se centren en implementar métodos de enseñanza que fomenten una mayor participación de los estudiantes. El uso de métodos inclusivos dirigidos por los estudiantes está ayudando a los educadores a facilitar el aprendizaje de sus alumnos. Actualmente se encuentran disponibles diversas metodologías cuyo objetivo es mejorar el aprendizaje y la evaluación en los cursos de ingeniería [1]–[4]. Por ello, las nuevas tecnologías en educación han incluido las novedosas herramientas tecnológicas para la enseñanza y el aprendizaje individual y colaborativo [5]. Dentro de estas metodologías, el aprendizaje basado en proyectos (ABP) ha sido implementado por varios centros educativos, mostrando una mejora significativa en el proceso de aprendizaje.

La metodología ABP permite a los estudiantes combinar teoría y práctica y obtener una comprensión más profunda del tema [6]. Además, mejora las "habilidades blandas" (habilidades efectivas para trabajar en equipo, gestión de proyectos, comunicación, entre otras) necesarias para que un graduado sea más comercializable [7]. ABP se ha implementado en varias áreas de la ingeniería, como la ingeniería mecánica [8]–[10], la ingeniería química [11]–[13], la ingeniería de software [14]–[16], las telecomunicaciones [17], los sistemas de gestión de bases de datos. [18], la ingeniería eléctrica [19], ingeniería electrónica [20], ingeniería biomédica [21], entre otras.

Hoy en día, se hace un gran énfasis en la educación multidisciplinaria. Los profesionales necesitan desarrollar o mejorar habilidades de pensamiento analítico que les permitan abarcar aspectos sociales, incluidas las habilidades lingüísticas, para que puedan combinar sus conocimientos con los de otros especialistas. Asimismo, una de las demandas actuales pasa por mejorar competencias que ayuden a mediar problemas, mediante el desarrollo de actividades de aprendizaje no convencionales, que permitan aumentar la participación, motivación y colaboración en las actividades de los diferentes cursos. Hay una necesidad en la preservación del medio ambiente y en la importancia de crear conciencia en la selección de recursos, tecnologías y procesos cada vez más eficientes dentro de las cadenas productivas como una responsabilidad social, que permita al consumidor tener mejores opciones, más conciencia e iniciativa para comprar productos más duraderos, desarrollados en procesos sostenibles. Además, hay una gran demanda e interés por proyectos y soluciones que apunten a la implementación de conceptos de economía circular, principalmente orientados a reducir la contaminación humana en todo el mundo. En este sentido, aprender sobre sostenibilidad y economía circular se convierte en un aspecto fundamental en la formación de los estudiantes de las carreras de ingeniería. Se han realizado algunos trabajos relacionados con el desarrollo de estas capacidades con el desarrollo de competencias en sostenibilidad y economía circular, como es el caso del trabajo realizado por Rodríguez- Chueca et al [22]. Alves et al. [23] exploraron el aprendizaje acerca de sostenibilidad y economía circular por desarrollo basado en la metodología de aprendizaje basado en proyectos. Rodríguez-Andara et al. evaluaron metodologías de aprendizaje activo para desarrollar habilidades de sostenibilidad en ingeniería [24]. Ashby y Vakhitova discutieron algunas herramientas de enseñanza para reducir el desperdicio de recursos no renovables a través de conceptos de economía baja en carbono y gestión eficiente de recursos [25]. Reichmanis y Sabahi diseñaron un curso para estudiantes de química con el objetivo de contribuir a la sostenibilidad a largo plazo en las empresas [26].

Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo implementar un enfoque multidisciplinario que abarque los temas antes mencionados con un estudio de caso de aprendizaje basado en proyectos (ABP) para el curso de

introducción a la ciencia e ingeniería de materiales en la Universidad de Antioquia, en Colombia. Este es un curso obligatorio del primer año de pregrado que se imparte típicamente utilizando el método tradicional (MT), no solo en la Universidad de Antioquia, sino también en muchos programas de ingeniería en todo el mundo. Además, hasta hace relativamente poco tiempo, muchas carreras de ingeniería comenzaron a ofrecer este curso debido a que hay una revolución en la ciencia de los materiales, que no solo influye en temas como la sostenibilidad y la demanda de energía, sino también en la industria mundial. Por lo tanto, el impacto de este curso hoy en día es increíblemente significativo debido a la cantidad de estudiantes de ingeniería en todo el mundo. El análisis que aquí se presenta se desarrolló con base en el curso de tercer semestre denominado Introducción a la Ciencia de Materiales, que se ofrece en la Universidad de Antioquia (Colombia). Este estudio presenta los resultados obtenidos al implementar una innovación en el curso en cuestión, en relación al semestre anterior, al incorporar una actividad de ABP dentro de las actividades de seguimiento del curso. El objetivo de esta adaptación fue comparar la efectividad del método ABP implementado en un curso del primer semestre de 2019 con un enfoque de aprendizaje tradicional (TL) en un curso del segundo semestre de 2018. La experiencia desarrollada en el curso basado en ABP se centró en la producción de bastones o muletas para personas con movilidad reducida. Por otra parte, el curso preliminar se evaluó con base a clases y exámenes tradicionales. Los resultados de la metodología ABP fueron altamente favorables. Propiedades de los materiales como la resistencia a la compresión y el peso fueron evaluados en los proyectos finales de clase para valorar técnicamente las piezas desarrolladas. También se incluyeron encuestas y análisis de resultados para evaluar si la metodología utilizada en esta investigación fue tomada positivamente por los estudiantes, profesionales y profesores.

I. MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo de esta investigación fue estudiar la efectividad de la metodología de enseñanza de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP). Ciento tres (103) estudiantes del curso introductorio a la Ciencia e Ingeniería de Materiales de la Universidad de Antioquia sede Medellín, Colombia participaron durante dos semestres distintos, el segundo semestre de 2018 (2018-II) y el primer semestre de 2019 (2019-II). I). A este último se le asignó el método de enseñanza Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y al primero el Método Tradicional (MT). Los dos cursos se compararon porque compartían características similares: 51-52 estudiantes y todos eran estudiantes de primer año. Además, se administraron pruebas tradicionales en ambas secciones del curso. Cada grupo tomó los mismos exámenes para el 60% de la nota total. El 40% restante fueron tareas (compromisos a realizar fuera de clase en forma de resolución de ejercicios teóricos) para el grupo MT (curso 2018-II); mientras que este

40% fue un proyecto para el grupo ABP (curso 2019-I). Este proyecto del 40%, se evaluó por medio de un proyecto constituido por un reporte técnico detallado de la pieza construida y por medio de un trabajo experimental, es decir, la pieza misma. Se realizaron reuniones periódicas para evaluar el aporte de las personas que estaban contribuyendo al proyecto, con preguntas a cada miembro del grupo de trabajo, y para evaluar el progreso en el reporte escrito. Asimismo, se establecieron los avances el proyecto evaluando los avances con respecto a lo presentado en la reunión anterior.

En la Tabla I se resumen los principales parámetros de la investigación. Es importante señalar que el curso no fue evaluado al 100% utilizando la metodología ABP, ya que el curso considera aspectos teóricos que fueron evaluados a través de la evaluación sumativa a través del método tradicional. Se enfatizó a los estudiantes que la teoría y la práctica van de la mano, de modo que se explicó la importancia de los trabajos prácticos. Por lo tanto, el curso de MT, fue teórico 100%; mientras que en el curso con ABP, fue 60% teórico y 40% práctico. Esta metodología fue diseñada para entender los efectos de la enseñanza y el método de aprendizaje en cada tipo de curso. En los dos casos presentados, tareas (labores a realizar fuera de clase en forma de resolución de ejercicios teóricos) para el método tradicional y proyecto para el método ABP, el 40% de los resultados buscan consolidar conceptos enseñados en clase, siendo algunos de ellos: propiedades de los materiales, caracterización de materiales, y fundamentos de fabricación. Al grupo de ABP se le asignó un problema multidisciplinario que consistía en trabajar para encontrar soluciones para las personas con movilidad reducida. Su tarea era crear bastones y muletas utilizando no solo materiales económicos, sino además piezas fabricadas con residuos sólidos preferiblemente. Se presentaron un total de 8 proyectos de bastones (Ws) clasificados como Ws-A, Ws-B, Ws-C, Ws-D, Ws-E, Ws-F, Ws-G y Ws-H. Y se presentaron seis proyectos de muletas (Cr): Cr-A, Cr-B, Cr-C, Cr-D, Cr-E y Cr-F.

Durante una sesión de motivación de los proyectos, la ONG Habilidad Medellín hizo presentaciones sobre personas con movilidad reducida que necesitaban equipos especiales en Medellín, como los que son objeto de este proyecto. Se enfatizó frecuentemente a los estudiantes la importancia de la relación entre la ciencia, tecnología y la solución de problemas a las personas. Este tipo de sensibilización para estudiantes y futuros ingenieros que trabajan en proyectos humanitarios fue otro de los objetivos del estudio.

TABLA I
PARÁMETROS UTILIZADOS EN ESTA INVESTIGACIÓN

Parámetros	Curso 2018-II	Curso 2019-I
Número de estudiantes (%)	51 (100%)	52 (100%)
Número de alumnas (%)	9 (17.6%)	9 (17.3%)
Número de alumnos (%)	42 (82.4%)	43 (82.3%)
Evaluación en exámenes por TM	60% (individual)	60% (individual)
Evaluación por método ABP	0%	40% grupos de 4)
Tareas por TM	40% (individual)	0%
Estudiantes año en el programa	1	1

Además del problema multidisciplinario, los estudiantes presentaron un informe técnico con una revisión bibliográfica ampliada que incluía información de la pieza fabricada. Para el trabajo práctico, se informó a los estudiantes que las mejores soluciones serían aquellas con puntajes altos en los siguientes criterios: tipo de materiales involucrados, procesamiento diverso, bajo peso, alta resistencia mecánica, y estética atractiva e innovadora. En cuanto a la revisión de la literatura y el informe escrito, se informó de que una buena calificación se obtiene con una revisión de la literatura que involucre referencias técnicas cruzadas (preferiblemente en bases de datos en inglés), buena gramática y estándares ISO para presentar un informe técnico. Un resumen de los principales parámetros para la asignación del proyecto se presenta en la Tabla II. La calificación final del proyecto ABP completo fue de 20% para la parte construida y de 20% para la descripción técnica, que en su totalidad correspondió al 40% de la asignatura. Los estudiantes eran libres de seleccionar a sus compañeros de grupo, pero el componente a diseñar se asignaba según la lista de estudiantes de registro (institucionalmente los 52 estudiantes estaban separados en dos listas). La evaluación se realizó en reuniones cada 15 días: mediante informes orales y escritos de avance de fabricación de piezas. Todos los miembros del grupo debían asistir y estar preparados para responder preguntas. Para el informe técnico, el objetivo era un informe tipo de artículo de revisión de literatura, solo con artículos de revistas, patentes y sitios web de empresas aceptados como referencias. A los estudiantes se

TABLA II
Parámetros iniciales para la calificación del proyecto de curso ABP

	Parámetros
Temas (según matriculación oficial en la Universidad)	Bastones o Muletas
Alumnos por grupo	3 o 4
Porcentajes de calificación (40% de la asignatura)	20% la pieza, 20% memoria técnica
Reuniones de calificación cada 15 días	4 reuniones son obligatorias. Todos los miembros del grupo deben asistir y estar preparados para responder preguntas. La calificación se basa en la preparación de los estudiantes. Otras reuniones se llevan a cabo durante el horario regular de oficina por solicitud de grupo.
Parámetros del informe técnico	El informe debe incluir revisión bibliográfica: se le da más peso a este apartado sobre la creación de la pieza (muleta o bastón) y todos los materiales involucrados, con referencias técnicas cruzadas. Copia no aceptable (revisada con software antiplagio). Segunda parte un breve informe técnico de la parte construida El informe final debe ser claro, conciso y coherente
Parámetros de la pieza	<ul style="list-style-type: none"> • Debe soportar 80kg en compresión • Incluir al menos 3 materiales • Minimizar el peso de toda la pieza • No hay límite en materiales ni procesamientos • Debe presentar al menos un aspecto innovador
Pruebas de laboratorio	La pieza construida será pesada y ensayada a compresión en laboratorio.

les enseñó dónde buscarlos, incluidas las bases de datos de las Universidades a las que tenían acceso. En cuanto a la extensión del informe, se prefirió ser conciso y directo, tarea que al principio resultó difícil de entender ya que los estudiantes de este nivel tienden a incluir mucha información innecesaria.

Para el control anti plagio se utilizó el Software Turnitin para la revisión de los informes finales. Se informó a los estudiantes sobre esta herramienta y las consecuencias de copiar. Se solicitó un breve informe, tipo laboratorio, para explicar la parte final construida, materiales, procesos y todos los métodos y partes. En cuanto a los parámetros técnicos de la pieza, se requería 80kg de resistencia a la compresión, pensando en una persona con sobrepeso de unos 160kg. El proyecto necesitaba incluir el uso de al menos 3 materiales diferentes, ser lo más liviano posible y, en principio, no se estableció límite ni en materiales ni en técnicas de fabricación. Para la resistencia a la compresión, cada pieza se ensayó hasta 80 kg utilizando una máquina de tracción universal Shimadzu AG250KN, trabajando a 10 mm/min. En Colombia, la mayoría de las universidades tienen una escala de calificación de un mínimo de 0,0 a un máximo de 5,0, donde el mínimo para aprobar es de 3,0. Sin embargo, en este proyecto se reportó la calificación en porcentajes, desde 0% hasta 100%; por lo tanto, 60% sería la calificación mínima para aprobar.

Dado que la Universidad de Antioquia es una institución pública, la mayoría de los estudiantes requieren apoyo económico para desarrollar sus proyectos de aula; por lo tanto, la Escuela de Ingeniería garantizó el apoyo del proyecto con técnicos expertos en fabricación, con las tecnologías de procesamiento y el suministro, en caso de ser necesario, de algunos materiales menores. A los docentes del programa de ingeniería mecánica, a los estudiantes participantes en este proyecto de ABP, a algunos estudiantes externos al curso y a algunos profesionales se les pidió que evaluaran cualitativamente las partes construidas en una encuesta creada en Google Forms.

II. RESULTADOS

En la Tabla III se exhiben algunos de los parámetros del

Tabla III
ALGUNOS DE LOS PARÁMETROS DEL INFORME FINAL

Bastones	Referencias válidas	Patentes analizadas	Recuento de palabras
A	8	0	2684
B	1	10	3681
C	10	0	4087
D	13	10	3624
E	23	0	5198
F	44	4	6177
G	9	0	3008
H	9	0	3200
Muletas	Referencias válidas	Patentes analizadas	Recuento de palabras
A	3	0	1989
B	10	0	5245
C	14	0	1467
D	10	2	1847
E	32	2	2427
F	29	5	5276

informe final, donde el número de referencias válidas, patentes y extensión total fue tema de constante revisión. Esto era necesario, ya que los estudiantes eran incapaces de diferenciar la mayoría de estos temas y los trabajos iniciales incluían información innecesaria e imágenes copiadas de Internet, lo que fue penalizado desde la primera reunión, ver Figura 1. En cuanto a las referencias válidas y patentes, sólo se aceptaron los correspondientes a artículos de revistas o empresas debidamente analizados en el informe. Es necesario señalar que se trata de información altamente técnica, difícil de analizar incluso para estudiantes avanzados de pregrado.

La Figura 1 ilustra la comparación de los porcentajes de evaluación de los cursos utilizando procedimientos de evaluación alternativos: tradicional y combinado utilizando ABP. En ambos casos se utilizó una escala del 100% en la que se cambió el componente de tarea utilizado en la evaluación del curso con la metodología tradicional por un componente de proyecto, en el que se evaluaron cuatro momentos diferentes (reuniones), incluyendo un informe final. En cada reunión, se esperaba que los estudiantes mejoraran sus puntuaciones con respecto a la anterior, como se indicó en el informe de progreso de la última reunión, para lograr las metas del grupo. La primera reunión con los grupos sirvió como puntaje base. El objetivo principal de las reuniones era comprender la calificación y el método que se utilizaba, ya que se trataba de un proyecto y la respectiva redacción de informes relativamente complicados para los estudiantes que terminaban su primer año en la Universidad. En general, los puntajes tanto para bastones en la Figura 2a como para muletas en la Figura 2b, estuvieron por debajo del 20% debido a los siguientes problemas: bajo progreso en el trabajo, problemas de trabajo en grupo, bajo avance en la revisión de referencias, y en no presentar una idea clara de cuál sería la pieza final a fabricar. La mayor parte de la calificación se basó en el primer informe; por lo tanto, la reunión de evaluación también se utilizó para brindar orientación sobre el trabajo de revisión. Reiterando, la idea principal fue resumir y explicar sistemáticamente artículos de revistas, patentes y algunas empresas clave que lideran el mercado a nivel mundial en la pieza a desarrollar. Se hizo énfasis en bases de datos con información en inglés, lo que mostró cierta resistencia debido a que la mayoría de los estudiantes en el país tienen un dominio limitado del inglés.

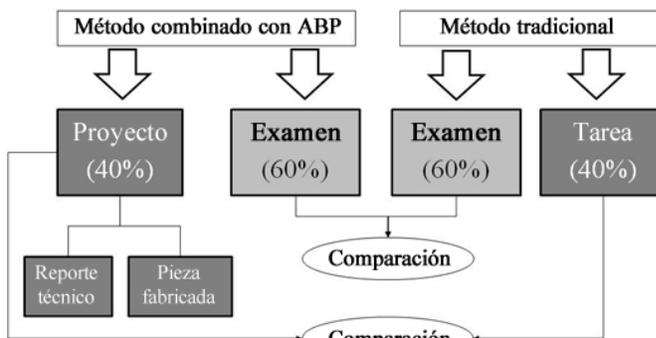


Fig. 1. Diagrama de bloques del método seguido para la evaluación.

Como se muestra en las Figuras 2a y 2b, se observó un aumento del 5 al 25% para la mayoría de los grupos. Solo los grupos Ws-G y Cr-A no mostraron mejoría del primer al segundo encuentro. La evaluación se basó primero en la revisión del avance de la reunión anterior, en el avance en el proyecto de laboratorio, y en un examen oral y trabajo en grupo. En este punto, ya se les había asignado un espacio en los laboratorios de ingeniería para comenzar a hacer algunos trabajos preliminares con el asesoramiento de técnicos expertos, ya que la formación académica de los estudiantes era baja en comparación con lo que se espera de un ingeniero recién graduado. La tercera y cuarta reunión se mostró una mejora más sistemática entre todos los grupos, con una tendencia casi lineal. Después de la última reunión, se otorgaron 15 días adicionales para ajustar y presentar la documentación final, que finalmente se calificó como el 20% completo del proyecto ABP. Algunos de los proyectos fueron sobresalientes y recibieron el 100% de puntaje, a pesar de la formación previa de los estudiantes. Antes de asignar una calificación final, los documentos se analizaron mediante el software Turnitin para verificar si había un porcentaje significativo de plagio, donde se encontró que todos los trabajos tenían menos del 5% de similitud con otros trabajos, lo cual es aceptable. Aunque en la Figura 2 solo se notan 4 reuniones obligatorias, muchos estudiantes y grupos asistieron en horarios adicionales para preguntar sobre su progreso, lo que ciertamente incrementó la carga docente, pero mejoró los puntajes finales del proyecto.

La Tabla IV resume tanto los materiales como los procesos de fabricación utilizados en estos proyectos. Se utilizaron aluminio (Al), madera, acero, caucho, nylon, poliuretano termoplástico (TPU), polipropileno (PP), nylon y otros en contenidos menores (como latón y cuero). El color gris más claro del acero significa que se utilizaron tornillos y tuercas de acero para la unión. En general, el aluminio, la madera (principalmente madera de pino) y el caucho fueron los materiales más utilizados, y las principales razones se debieron al bajo peso, la disponibilidad y el bajo costo. En cuanto a los procesos de fabricación, la mayoría de los grupos utilizaron procesos simples, como perforación, corte y pulido.

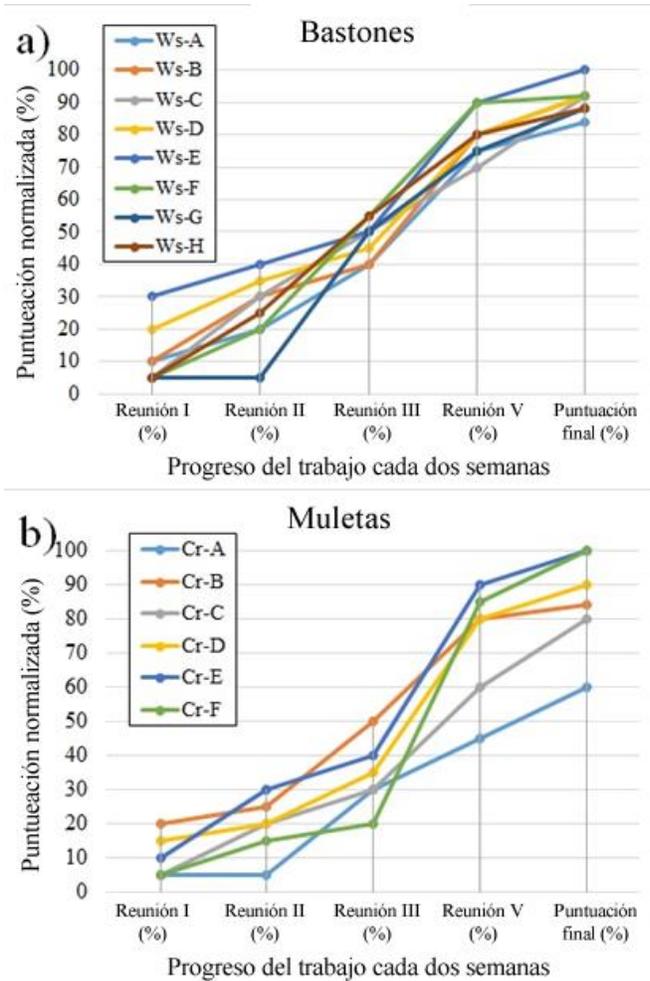


Fig. 2. Evaluación del progreso del trabajo del curso ABP 2019-I.

Esto se debió no solo a que las soluciones solicitadas fueron útiles y económicas, sino también a que este fue el primer curso de materiales de los estudiantes y todos los cursos de fabricación incluidos en el programa de ingeniería mecánica son posteriores a este curso. El mecanizado por métodos tradicionales y CNC también fue común para la fabricación de piezas pequeñas, pero los técnicos de los laboratorios han

TABLA IV
MATERIALES Y OTRA INFORMACIÓN TÉCNICA OBTENIDA DEL ABP DE CLASE 2019-I

Grupo	Materiales								Procesos de manufactura					
	Al	Madera	Acero	Caucho	TPU	PP	Nylon	Otros	Perforación	Soldadura	Ensamble	Mecanizado	Doblado	FA
Muletas														
Cr-A														
Cr-B														
Cr-C														
Cr-D														
Cr-E														
Cr-F														
Bastones														
Ws-A														
Ws-B														
Ws-C														
Ws-D														
Ws-E														
Ws-F														
Ws-G														
Ws-H														

colaborado. La mayoría de los grupos utilizaron piezas comerciales o desechadas en menor proporción en sus proyectos. La parte más utilizada fue un soporte de muleta de goma de neopreno. Unos pocos grupos utilizaron el doblado y la fabricación por manufactura aditiva (FA), esto último principalmente para la empuñadura. La Figura 3 muestra todas las partes presentadas en el curso como proyecto final.

La Tabla V presenta los datos generales sobre las calificaciones finales del curso, todas referenciadas al 100% para la calificación máxima. Como se puede observar, el curso que implementó el método ABP obtuvo un promedio de calificación final más alto que el curso 100% TM. Si comparamos la evaluación del 40% de 2018 con el proyecto de evaluación del 40% de 2019, los resultados son bastante similares. Sin embargo, el curso ABP 2019 obtuvo una puntuación más alta en los exámenes, 66,2% frente a 58,9%. Dado que las preguntas eran del mismo tipo (en la etiqueta de dificultad y antecedentes), esto podría estar asociado probablemente a una mejor motivación de los estudiantes y los temas del curso, muy probablemente impulsados por la metodología ABP. La Figura 4 muestra a algunos de los estudiantes durante una de las sesiones probando sus dispositivos. Esta fue una experiencia de aprendizaje muy interesante ya que los grupos evaluaron su pieza y la compararon con otros compañeros de clase. La Figura 5 resume las pruebas de desplazamiento de fuerza para bastones y muletas. Claramente, la mayoría de los proyectos cumplieron con el requisito mínimo de 80 kg en compresión (800 N). Para quienes no cumplieron con este requisito, el aprendizaje fue muy importante; por lo tanto, la calificación final consideró todos los aspectos.

La Figura 6 muestra los resultados de la encuesta distribuida a los alumnos de la clase, alumnos externos, docentes y (otros) profesionales que evaluaron las piezas fabricadas. En términos de innovación, ver Figura 6a, las muletas A, E y F recibieron un puntaje de aprobación más alto; mientras que para los bastones de la Figura 6b, el pico en F indica claramente cuál fue el mejor. Si examinamos de cerca la Figura 4, las piezas fabricadas tienen en general un mango más elaborado, y en estética está bastante relacionado con lo mejor en innovación teniendo la misma tendencia, lo cual es consistente. También se esperaban puntajes bajos en innovación, las muletas B y C y los bastones A y B recibieron puntajes por debajo del 20%. La muleta B se parecía bastante a una comercial, y la C era única y de forma poco convencional, lo que los encuestados interpretaron como que no cumple con los requisitos. De manera similar, los bastones A y B eran bastante convencionales, lo que explica los resultados. Finalmente, la puntuación más baja en innovación estuvo mucho más definida en la curva para la muleta C que para los bastones.



Fig. 3. Piezas finales realizadas por los alumnos de la clase: a) bastones, b) muletas.

Aunque las valoraciones de los grupos evaluadores fueron bastante diferentes, los resultados de los alumnos de la clase evaluando a sus compañeros, frente a los del grupo de expertos no difirieron significativamente entre ellos. Esto puede explicarse porque los elementos evaluados eran familiares para todos y características como la innovación y la estética fueron más fáciles de valorar.

TABLA V
DATOS GENERALES OBTENIDOS PARA DOS PERIODOS DE LA CLASE

Class	2018-II		
	40%	60%	100%
Eval %	40%	60%	100%
Type	Homework	Exams	Final grade
Average	91.2	58.9	71.8



Fig. 4. Estudiantes de primer año de pregrado a) presentando sus piezas fabricadas, b) una de las piezas bajo el ensayo de compresión, y c) estudiantes participando en la evaluación de laboratorio.

Finalmente, en la Figura 7 se presenta un gráfico de la carga máxima probada y el peso correspondiente de la pieza fabricada. Claramente, para los bastones, el mejor proyecto basado en este criterio fue Ws-E, mientras que para las muletas es Cr-E, ya que cada una falló por debajo del peso máximo requerido de 80 kg (176,37 libras).

III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Con base en los resultados percibidos en los estudiantes en relación a la motivación y la buena nota obtenida en el curso evaluado, la implementación del ABP ha demostrado ser un método eficaz para la enseñanza y el aprendizaje en un curso de ciencia e ingeniería de materiales, donde se integran componentes como materiales, propiedades, procesos de manufactura, innovación, trabajo en grupo, escritura, entre otras cosas, que pueden ser evaluadas y aprovechadas positivamente, incluso para estudiantes de primer año de pregrado. Además, el proyecto se consideró desafiante en los productos que los estudiantes tenían que entregar, como el trabajo de revisión esperado con referencias cruzadas técnicas,

utilizando bases de datos en inglés y con varias sesiones de revisión periódicas. Además de las limitaciones del idioma de los estudiantes, ya que se habla español en Colombia, y sin experiencia previa de los estudiantes en la materia, este estudio demuestra que un estudiante debidamente asesorado, motivado y desafiado a desarrollar un proyecto, puede emprender y terminar un trabajo técnico adecuado.

Aunque no es tan visible y atractivo como las piezas fabricadas, quizás el resultado más importante es el trabajo de revisión de la literatura. Este fue el componente del proyecto que consumió más tiempo no solo para el profesor, sino también para los estudiantes que tuvieron que hacer muchas correcciones. De hecho, quienes obtuvieron mejores puntajes por lo general fueron los que buscaron asesoramiento continuamente durante las horas extra de oficina, además de las reuniones obligatorias. El impacto en la carrera de un estudiante puede marcar una gran diferencia si utiliza la metodología seguida en este trabajo para posteriores informes y será más significativo si otros profesores continúan con esta formación.

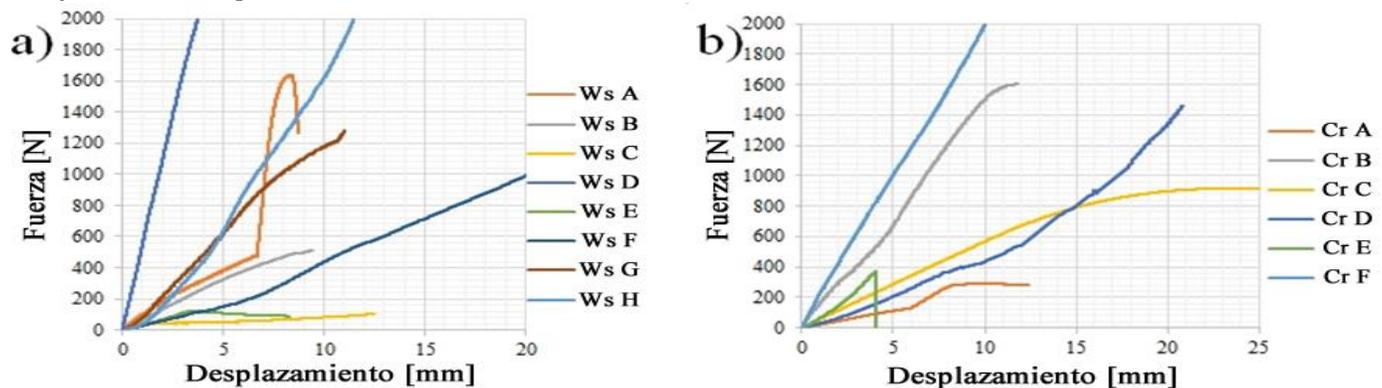


Fig. 5. Ensayos de compresión sobre las piezas realizadas en clase: a) bastones, b) muletas.

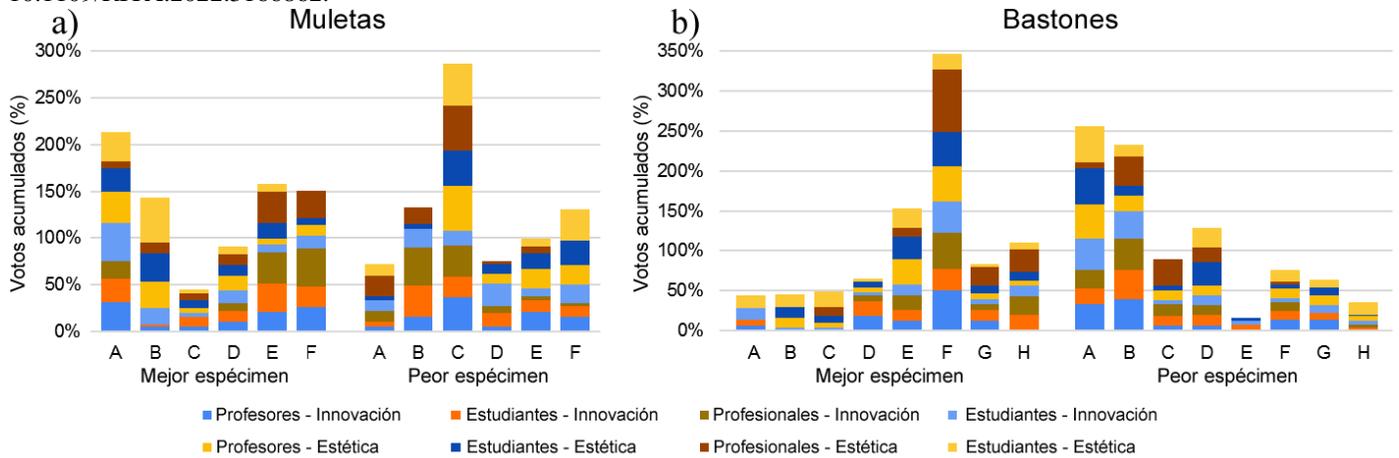


Fig. 6. Encuestas realizadas a diferentes personas para evaluar la pieza fabricada a) para muletas, b) para bastones

Otro aspecto importante del estudio fueron los cambios positivos que este proyecto trajo a la Universidad, particularmente en los laboratorios de fabricación. Al principio, parte del personal del laboratorio no estaba de acuerdo con el proyecto argumentando sobre la falta de tiempo y problemas de seguridad, lo cual es bastante normal en las instituciones públicas de muchos países [27]. Un examen detallado del problema con las horas de trabajo y una mejor planificación resolvieron el problema y fueron particularmente útiles y esenciales para finalizar los proyectos. Este también

fue un buen ejemplo para el personal y otros miembros de la facultad que ahora realizan algunos proyectos ABP en otros cursos similares. En cuanto al método ABP, tiene muchas ventajas, combina una buena estrategia para aumentar la motivación de los estudiantes [28], docentes e incluso del personal, además de una forma efectiva de motivar a las personas a ser más creativas [29]. El método ABP también puede ser útil para ayudar a disminuir otros problemas en muchos países, como la tasa de deserción estudiantil que puede tener muchas variables que la afectan, incluidas las estrategias de enseñanza y aprendizaje [30]. Otro aspecto importante de este proyecto fue el trabajo en grupo. Se sabe que el aprendizaje activo facilita la cooperación entre los estudiantes [31], una habilidad importante que se necesita en el mercado laboral actual. Además, el método ABP facilita la introducción de los estudiantes a soluciones de gran escala y tiempo para la sociedad, como el medio ambiente [32]–[34], la pobreza y otros problemas globales [35].

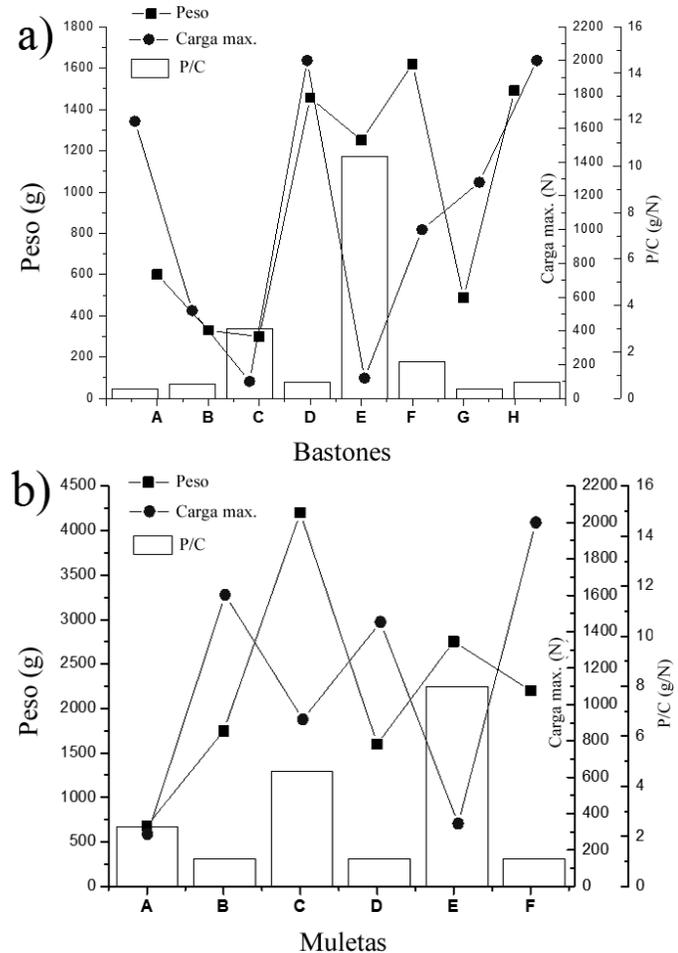


Fig. 7. Parámetros de peso y carga para: a) bastones, b) muletas.

La evaluación de los bastones y muletas fabricados, aunque no es el objetivo principal de este estudio motiva a los estudiantes a aprender más o a ver cómo pueden mejorar, y dado que la motivación es un factor clave para el aprendizaje, la evaluación de los parámetros técnicos de su parte promovió los principales objetivos de esta investigación. Además, la caracterización de materiales es un tema central en el curso, por lo que era realmente importante correlacionar los contenidos teóricos con los aplicados en los temas del curso, algo que no siempre es posible. La motivación de los estudiantes por el proyecto final también aumentó cuando supieron que pueden competir con sus compañeros de clase a través de la evaluación mecánica de sus proyectos.

Por último, pero no menos importante, los estudiantes reclamaron continuar con los métodos activos en los cursos futuros que tomaron después al evaluado en esta investigación, introducción a ciencia e ingeniería de los materiales. La opinión de los estudiantes en general es que el aprendizaje activo tal como se presenta en este curso es más motivador y útil para ellos después de la graduación. Varios cursos ahora impartidos por otros profesores están implementando metodologías alternativas o combinadas [36] y nuevas áreas

multidisciplinarias [37], [38], lo que supone no solo un cambio total en la opinión de los estudiantes, sino también en las estrategias de enseñanza universitaria. Básicamente, las percepciones de los estudiantes sobre estos resultados han llevado a cambios a largo plazo no solo para ellos: para las próximas nuevas versiones del curso, con la implementación de mejores estrategias y metodologías para mejorar la enseñanza y el aprendizaje; para sus cursos futuros; y en la institución, ya que la Facultad de Ingeniería y la Universidad ahora están mucho más interesadas en estudiar e implementar métodos alternativos de enseñanza al método tradicional. Finalmente, la nueva inmersión fuerte de tecnologías adaptativas en didácticas como la fabricación aditiva [39] dinamizará el aprendizaje activo con beneficios para los estudiantes en otros lugares.

IV. CONCLUSIÓN

A través de la implementación del método ABP en un curso de ciencia e ingeniería de materiales, se evidenció el involucramiento de los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje, promoviendo el desarrollo de competencias encaminadas a la profesionalización de los estudiantes. La experiencia desarrollada ha permitido evidenciar el acercamiento de los estudiantes a las necesidades reales de la sociedad, involucrándolos activamente en actividades propias de su trabajo como sujetos responsables del desarrollo social, y formándolos de manera realista durante su proceso de aprendizaje. El proyecto actual que implementa el método ABP ha demostrado ser una buena estrategia para impartir el curso de introducción a la ciencia e ingeniería de materiales, sin eliminar ningún contenido del curso y manteniendo el mismo rigor en la evaluación. El proyecto ha revelado que los estudiantes pueden trabajar en proyectos interdisciplinarios que involucren soluciones sociales, artes, ingeniería, materiales y manufactura, reciclaje, entre otras áreas. Este tipo de formación es necesaria para un campo de ingeniería competitivo hoy en día. El costo del proyecto fue bastante bajo, ya que la mayoría de los materiales utilizados por los estudiantes eran residuos sólidos o piezas desechadas. La encuesta administrada también reveló que los problemas resueltos en el proyecto son relativamente bien conocidos por la comunidad; por lo tanto, la evaluación mostró tendencias bastante similares entre expertos y no expertos en las piezas seleccionadas. Este estudio incluyó uno de los cursos de ingeniería básica más difundidos a nivel mundial, donde se da una introducción a los materiales para ingenieros, un área crucial para la ingeniería, la ciencia y la economía del siglo XXI. Esta investigación muestra la viabilidad de implementar metodologías activas de bajo costo en ingeniería y ciencias, particularmente en países en desarrollo, donde los recursos son limitados y muchos cursos se imparten solo con un método tradicional. Finalmente, si bien el ABP no es innovador en los cursos avanzados de Ingeniería, sí lo es para los de introducción a la ingeniería. La implementación de este tipo de proyecto en este nivel puede ayudar a perfeccionar o desarrollar las habilidades analíticas, críticas o de resolución de problemas de los estudiantes. Para potenciar el verdadero

aprendizaje de un alumno con este tipo de metodología, se está evaluando el aprendizaje en diferentes momentos. Otros estudios han evaluado el éxito de los estudiantes en dos tiempos, al principio y al final del curso; algunos, justo al final del trabajo del curso.

REFERENCIAS

- [1] S. Saravanan, V. Mahesh, D. G. Kumar, and S. S. Kshatri, "Improving student's learning with efficient learning techniques: A case study of first year basic electrical engineering course," *Materials Today: Proceedings*, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.02.784.
- [2] A. K. Reedy, M. L. Guerrero Farias, L. H. Reyes, and D. Pradilla, "Improving employability skills through non-placement work-integrated learning in chemical and food engineering: A case study," *Education for Chemical Engineers*, vol. 33, pp. 91–101, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.ECE.2020.09.002.
- [3] A. Mirkouei, R. Bhinge, C. McCoy, K. R. Haapala, and D. A. Dornfeld, "A Pedagogical Module Framework to Improve Scaffolded Active Learning in Manufacturing Engineering Education," *Procedia Manufacturing*, vol. 5, pp. 1128–1142, 2016, doi: 10.1016/J.PROMFG.2016.08.088.
- [4] M. S. H. Ruslan, M. R. Bilad, M. H. Noh, and S. Sufian, "Integrated project-based learning (IPBL) implementation for first year chemical engineering student: DIY hydraulic jack project," *Education for Chemical Engineers*, vol. 35, pp. 54–62, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.ECE.2020.12.002.
- [5] I. Blau, T. Shamir-Inbal, and O. Avdiel, "How does the pedagogical design of a technology-enhanced collaborative academic course promote digital literacies, self-regulation, and perceived learning of students?," *Internet and Higher Education*, vol. 45, p. 100722, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.iheduc.2019.100722.
- [6] A. Shekar, "Project-Based Learning in Engineering Design Education: Sharing Best Practices," 2014.
- [7] H. A. Hadim and S. K. Esche, "Enhancing the engineering curriculum through project-based learning," in *Proceedings - Frontiers in Education Conference*, 2002, vol. 2, doi: 10.1109/fie.2002.1158200.
- [8] M. H. Naveen, N. Ganesh Gurudatt, and Y.-B. Shim, "Applications of conducting polymer composites to electrochemical sensors: A review," *Applied Materials Today*, vol. 9, pp. 419–433, 2017, doi: 10.1016/j.apmt.2017.09.001.
- [9] X. Wang and Z. Bi, "New CAD/CAM course framework in digital manufacturing," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 27, no. 1, pp. 128–144, Jan. 2019, doi: 10.1002/cae.22063.
- [10] K. Wright, "Collaborative Projects with simulation assignments in mechanical engineering thermodynamics courses," *International Journal of Mechanical Engineering Education*, vol. 48, no. 2, pp. 140–161, Apr. 2020, doi: 10.1177/0306419018803624.
- [11] J. F. O. Granjo and M. G. Rasteiro, "Enhancing the autonomy of students in chemical engineering education with LABVIRTUAL platform," *Education for Chemical Engineers*, vol. 31, pp. 21–28, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.ece.2020.03.002.
- [12] K. Moodley, "Improvement of the learning and assessment of the practical component of a Process Dynamics and Control course for fourth year chemical engineering students," *Education for Chemical Engineers*, vol. 31, pp. 1–10, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.ece.2020.02.002.
- [13] S. A. Reid, "Restructuring a General College Chemistry Sequence Using the ACS Anchoring Concepts Content Map," *Journal of Chemical Education*, Mar. 2020, doi: 10.1021/acs.jchemed.9b00950.
- [14] T. Vasankari and A. M. Majanoja, "Practical Software Engineering Capstone Course – Framework for Large, Open-Ended Projects to Graduate Student Teams," in *Communications in Computer and Information Science*, Mar. 2019, vol. 1022, pp. 310–327. doi: 10.1007/978-3-030-21151-6_16.
- [15] S. Borges Simão Monteiro, A. Melo Mariano, and E. Junior, "Plataforma Unificada de Metodologia Ativa (PUMA): um projeto multidisciplinar," 2020.
- [16] V. G. Ferreira and E. D. Canedo, "Design sprint in classroom: exploring new active learning tools for project-based learning approach," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*,

Como citar este artículo: H. A. C. Lopera, E. Gutiérrez-Velásquez and N. Ballesteros, "Bridging the Gap Between Theory and Active Learning: A Case Study of Project-Based Learning in Introduction to Materials Science and Engineering," in IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, vol. 17, no. 2, pp. 160-169, May 2022, doi: 10.1109/RITA.2022.3166862.

- vol. 11, no. 3, pp. 1191–1212, Mar. 2020, doi: 10.1007/s12652-019-01285-3.
- [17] P. Čisar, P. Odry, S. Maravić Čisar, and G. Stankov, "Teaching spread spectrum in the course Telecommunication Systems using Octave," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 28, no. 2, pp. 367–383, Mar. 2020, doi: 10.1002/cae.22199.
- [18] A. Uzun, A. Onur, and S. Alabay, "Students' views on database management systems course designed according to problem-based learning," *International Journal of Evaluation and Research in Education*, vol. 9, no. 1, pp. 177–187, Mar. 2020, doi: 10.11591/ijere.v9i1.20501.
- [19] M. Torrent, E. Martinez, and J. I. Perat, "Application work using software tools and didactic equipment of electrical machines in electrical engineering studies," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 28, no. 2, pp. 435–443, Mar. 2020, doi: 10.1002/cae.22205.
- [20] A. ElShaer, D. Casanova, N. S. Freestone, and G. Calabrese, "Students' perceptions of the value of electronic feedback—Does disciplinary background really matter?," *British Journal of Educational Technology*, vol. 51, no. 2, pp. 590–606, Mar. 2020, doi: 10.1111/bjet.12881.
- [21] N. Kong, "Active game-based learning of dynamics modeling and simulation in biomedical systems engineering," *INFORMS Transactions on Education*, vol. 20, no. 1, pp. 16–25, Sep. 2019, doi: 10.1287/ited.2018.0205.
- [22] J. Rodríguez-Chueca, A. Molina-García, C. García-Aranda, J. Pérez, and E. Rodríguez, "Understanding sustainability and the circular economy through flipped classroom and challenge-based learning: an innovative experience in engineering education in Spain," *Environmental Education Research*, vol. 26, no. 2, pp. 238–252, Feb. 2019, doi: 10.1080/13504622.2019.1705965.
- [23] A. C. Alves, F. Moreira, C. P. Leão, and M. A. Carvalho, "Sustainability and circular economy through PBL: Engineering students' perceptions," in *WASTES - Solutions, Treatments and Opportunities II - Selected papers from the 4th edition of the International Conference Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities, 2017*, 2018, pp. 409–416. doi: 10.1201/9781315206172-65.
- [24] A. Rodríguez-Andara, R. M. Río-Belver, M. Rodríguez-Salvador, and R. Lezama-Nicolás, "Roadmapping towards sustainability proficiency in engineering education," *International Journal of Sustainability in Higher Education*, vol. 19, no. 2, pp. 413–438, 2018, doi: 10.1108/IJSHE-06-2017-0079.
- [25] M. Ashby and T. Vakhitova, "Analyzing and Measuring Circularity - Teaching and Industrial Tools by Granta Design," in *MRS Advances*, 2018, vol. 3, no. 25, pp. 1379–1386. doi: 10.1557/adv.2018.293.
- [26] E. Reichmanis and M. Sabahi, "Life Cycle Inventory Assessment as a Sustainable Chemistry and Engineering Education Tool," *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, vol. 5, no. 11, pp. 9603–9613, Nov. 2017, doi: 10.1021/acssuschemeng.7b03144.
- [27] J. Delfgaauw and R. Dur, "Incentives and Workers' Motivation in the Public Sector," *The Economic Journal*, vol. 118, no. 525, pp. 171–191, Jan. 2008, doi: 10.1111/j.1468-0297.2007.02108.x.
- [28] P. C. Blumenfeld, E. Soloway, R. W. Marx, J. S. Krajcik, M. Guzdial, and A. Palincsar, "Motivating Project-Based Learning: Sustaining the Doing, Supporting the Learning," *Educational Psychologist*, vol. 26, no. 3–4, pp. 369–398, Jun. 1991, doi: 10.1080/00461520.1991.9653139.
- [29] C. Zhou, A. Kolmos, and J. D. Nielsen, "A Problem and Project-Based Learning (PBL) Approach to Motivate Group Creativity in Engineering Education." 2012.
- [30] G. Kostopoulos, S. Kotsiantis, O. Ragos, and T. N. Grapsa, "Early dropout prediction in distance higher education using active learning," in *2017 8th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications, IISA 2017*, Mar. 2018, vol. 2018-January, pp. 1–6. doi: 10.1109/IISA.2017.8316424.
- [31] R. T. Johnson and D. W. Johnson, "Active Learning: Cooperation in the Classroom," *The Annual Report of Educational Psychology in Japan*, vol. 47, pp. 29–30, 2008.
- [32] A. Loaliza, S. Cifuentes, and H. A. Colorado, "Asphalt modified with superfine electric arc furnace steel dust (EAF dust) with high zinc oxide content," *Construction and Building Materials*, vol. 145, pp. 538–547, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.050.
- [33] S. R. Weart, *The Discovery of Global Warming: Revised and Expanded Edition*, Revised an. Harvard University Press, 2008.
- [34] W. R. Stahel, "The circular economy," *Nature*, vol. 531, no. 7595. Nature Publishing Group, pp. 435–438, Mar. 23, 2016. doi: 10.1038/531435a.
- [35] D. Griggs et al., "Policy: Sustainable development goals for people and planet," *Nature*, vol. 495, no. 7441. Nature Publishing Group, pp. 305–307, Mar. 21, 2013. doi: 10.1038/495305a.
- [36] H. A. Colorado, D. E. Mendoza, and F. L. Valencia, "A Combined Strategy of Additive Manufacturing to Support Multidisciplinary Education in Arts, Biology, and Engineering," *Journal of Science Education and Technology 2020 30:1*, vol. 30, no. 1, pp. 58–73, Oct. 2020, doi: 10.1007/S10956-020-09873-1.
- [37] H. A. Colorado, E. I. Gutiérrez-Velásquez, and S. N. Monteiro, "Sustainability of additive manufacturing: the circular economy of materials and environmental perspectives," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, no. 4, pp. 8221–8234, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.04.062.
- [38] C. Silva, G. Vélez, and H. A. Colorado, "Patina in the construction of the poetic bronze image: science of materials, art and philosophy," *Heritage Science*, vol. 5, p. 36, 2017, doi: 10.1186/s40494-017-0149-y.
- [39] H. A. Colorado, D. E. Mendoza, H. T. Lin, and E. Gutierrez-Velasquez, "Additive manufacturing against the Covid-19 pandemic: a technological model for the adaptability and networking," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 16, pp. 1150–1164, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.JMRT.2021.12.044.



Henry A. Colorado Lopera es PhD y MSc en Ciencia e Ingeniería de los materiales de la Universidad de California, Los Ángeles (2013) y MSc y BSc, ingeniero mecánico de la Universidad Nacional de Colombia (2005), es Profesor Titular e investigador Senior en el área de Ciencia e Ingeniería de Materiales en la Universidad de Antioquia, y es miembro fundador del Grupo de Investigación CCComposites. Sus áreas de interés son: materiales compuestos, la valorización y uso de residuos sólidos, los materiales de construcción, la manufactura avanzada, los materiales culturales y la didáctica y enseñanza universitaria. Henry ha liderado investigaciones en didáctica usando fabricación aditiva y métodos activos en sus clases y también para niños y buceadores visitantes en el museo.



E. Gutiérrez-Velásquez recibió su BSc. en ingeniería mecánica y MSc. Licenciado en Ingeniería en 2001 y 2008 respectivamente, ambos de la Universidad de Antioquia Sede Medellín, Colombia y el PhD. en Ingeniería Mecánica de la Universidad Federal de Itajubá, Brasil, en 2013. Ha realizado investigaciones en optimización modelado de sistemas térmicos y caracterización y desarrollo de materiales. Actualmente es profesor de tiempo completo en la Fundación Universitaria Los Libertadores en Bogotá, Colombia.



Nancy Ballesteros nació en Nueva Jersey. Obtuvo su maestría en lingüística hispánica de la Universidad de California en Los Angeles, CA, y una licenciatura en Literatura de la Universidad de Montclair, Upper Montclair, New Jersey. Tiene experiencia en la enseñanza en línea e implementa la tecnología en sus clases presenciales. Es jefa de departamento y profesora de lingüística, traducción e interpretación, cultura y español en el departamento de Lenguas y Culturas en la Universidad de Mount Saint Mary's- LA. Es profesora de español y lingüística en Santa Monica College, CA. Intereses académicos: adquisición de segunda lenguas, neurolingüística, fonética articulatoria y tecnología en el aula de lenguas extranjeras.