

A Methodological Proposal for Numerical Methods Teaching in Engineering using Problem-Based Learning (PBL)

Juliana Andrea Niño Navia, MSc¹, Gustavo Suarez Guerrero, PhD², Germán Alberto Barragán de los Ríos, PhD¹
German Urrea Quiroga, MSc¹, Juan Pablo Alvarado Perilla, Eng¹, Jorge Iván García Sepúlveda, MSc¹

¹Universidad Pontificia Bolivariana, sede Medellín, Colombia, juliana.nino@upb.edu.co, german.barragan.edu.co,
german.urrea@upb.edu.co, juan.alvarado@upb.edu.co, jorge.garcia@upb.edu.co

²Institución Universitaria Pascual Bravo, Colombia, gustavo.suarez@pascualbravo.edu.co

Abstract— The numerical methods course has shown throughout its development a high complexity due to its level of abstraction, this has as a consequence where the course becomes more difficult to overcome by students. Traditional teaching-learning methodologies are not effective in this kind of courses, that is why the application of new strategies such as Problem Based Learning (PBL) shows better results, since it has been shown that it has the ability to materialize theoretical concepts in real applications. This article presents this case study where the impact of the methodology is presented both in the learning process and in the training of students with a research profile within the aeronautical engineering program.

Keywords—Problem Based Learning, Teaching methodology, Teaching strategies, Numerical methods, Academic project.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.598>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Una Propuesta Metodológica Para La Enseñanza de Métodos Numéricos En Ingeniería Desde El Aprendizaje Basado En Problemas (ABP)

Juliana Andrea Niño Navia, MSc¹, Gustavo Suarez Guerrero, PhD², Germán Alberto Barragán de los Ríos, PhD¹
German Urrea Quiroga, MSc¹, Juan Pablo Alvarado Perilla, Eng¹, Jorge Iván García Sepúlveda, MSc¹

¹Universidad Pontificia Bolivariana, sede Medellín, Colombia, juliana.nino@upb.edu.co, german.barragan@upb.edu.co,
german.urrea@upb.edu.co, juan.alvarado@upb.edu.co, jorge.garcia@upb.edu.co

²Institución Universitaria Pascual Bravo, Colombia, gustavo.suarez@pascualbravo.edu.co

Resumen - El curso de métodos numéricos ha mostrado a lo largo de su desarrollo una alta complejidad debido a su nivel de abstracción, esto tiene como consecuencia que el curso se vuelve más difícil de superar por los estudiantes. Las metodologías tradicionales de enseñanza-aprendizaje no son efectivas en este tipo de cursos, es por ello que la aplicación de nuevas estrategias como el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) muestra mejores resultados, ya que se ha demostrado que tiene la capacidad de materializar conceptos teóricos en aplicaciones reales. Este artículo presenta este caso de estudio donde se presenta el impacto de la metodología tanto en el proceso de aprendizaje como en la formación de estudiantes con perfil investigador dentro de la carrera de ingeniería aeronáutica.

Palabras claves — Aprendizaje Basado en Problemas, metodología de enseñanza, métodos numéricos, proyecto académico.

I. INTRODUCCIÓN

Es común encontrar aun hoy en día metodologías de enseñanza enfocadas a las clases magistrales, las cuales se basan principalmente en la exposición de un docente sobre temáticas y contenidos teóricos que posteriormente son evaluadas en exámenes escritos enfocados a la memoria y no al desarrollo de competencias analíticas o de pensamiento sistémico [1], convirtiendo a los docentes en máquinas de evaluación, trayendo como consecuencia que una gran cantidad de estudiantes carezcan de un pensamiento crítico y de analítica en sus resultados, con dificultades conceptuales que se refleja en la inseguridad y falta de confianza al momento de enfrentar un problema o reto. Sin embargo, se ha visto el crecimiento en el uso de otras metodologías que dan prioridad a una mayor participación del estudiante en su aprendizaje, entre las que se encuentran las “metodologías activas” cuyas descripciones y aplicaciones pueden ser encontradas en diversos trabajos académicos entre los que se destacan [2-5]. Por su parte Serna Gómez et al. [6], indica que el proceso de aprendizaje activo comprende 11 etapas o pasos tal como se observa en la Fig. 1.

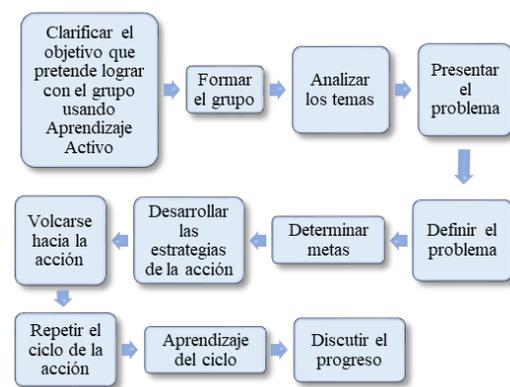


Fig. 1. Etapas del Aprendizaje Activo [6]

Una de las metodologías más importantes del aprendizaje activo es el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) [7], el cual fue desarrollado y llevado a la práctica en los años 60 por la Escuela de Medicina de la Universidad McMaster Canadá, esta se caracteriza principalmente porque el aprendizaje está centrado en el estudiante y no en el docente como era común hasta ese momento [8].

De acuerdo con Barrows [9] el ABP se define como “un método de aprendizaje basado en el principio de usar problemas como punto de partida para la adquisición e integración de los nuevos conocimientos”, esta metodología tiene unas características predominantes tales como: el aprendizaje está centrado en el alumno, se produce en pequeños grupos, los profesores se convierten en facilitadores o guías del proceso y no en el eje central del mismo, los problemas son el foco y el estímulo para aprender y por ende son el vehículo para el desarrollo de habilidades de resolución de problemas, generando así un aprendizaje autodirigido [10].

Lo anterior muestra por qué el ABP se convierte en una metodología no solo aplicable a las ciencias de la salud, sino que actualmente es aplicado en la estructuración de currículos de las ciencias exactas, permitiendo el desarrollo de

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.598>
ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

habilidades, competencias y resultados de aprendizaje relacionados con el trabajo en equipo, el autoaprendizaje y la resolución de problemas complejos, motivo por el cual se decide utilizar dicha metodología en el curso de métodos numéricos del programa de Ingeniería Aeronáutica de la Universidad Pontificia Bolivariana.

El empleo de las metodologías activas del aprendizaje en la Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín tiene entre sus orígenes el trabajo desarrollado para los cursos de métodos numéricos de la Escuela de Ingenierías desde el año 2008, en este año surgió la iniciativa de fomentar el pensamiento lógico – matemático, crítico y científico, esta estrategia buscaba fortalecer el proceso de enseñanza- aprendizaje, donde el estudiante pudiera tener la oportunidad de realizar un trabajo científico que los acercara a fenómenos físicos o problemas propios de la física y la ingeniería de su interés. De esta manera surgen las mini-jornadas de modelación matemática y simulación, donde participaban los estudiantes de todos los programas de ingeniería ofrecidos en ese momento por parte de la escuela. A partir del año 2014, al interior de la escuela se llevó a cabo una transformación curricular para todos los programas de ingeniería. De esta manera en el año 2016 y como consecuencia de la transformación que se realizó y específicamente en el programa de ingeniería aeronáutica, el curso de métodos numéricos paso a ser un curso del ciclo profesional, razón por la cual el programa apostó por potenciar las metodologías del aprendizaje basado en problemas y que además ofrecieran al estudiante la oportunidad de realizar un trabajo aplicado en el sector aeroespacial y con ello obtener productos científicos que permitieran la socialización y divulgación del conocimiento por ellos adquirido.

Los métodos numéricos constituyen técnicas mediante las cuales es posible formular problemas matemáticos, de tal forma que puedan resolverse utilizando diversas operaciones aritméticas. Aunque existen diversos métodos numéricos y aplicaciones, todos ellos tienen una característica común y es que requieren una variedad y cantidad de cálculos aritméticos, esta última hoy en día puede llevarse a cabo por medio del uso de herramientas computacionales, lo que ha permitido soluciones exactas a problemas complejos que antes solo se podían obtener de manera analítica [11]. Sin embargo, con el uso de las herramientas computacionales puede generar un reto aun mayor en el aprendizaje de los métodos numéricos ya que no solo requiere habilidades matemáticas si no un conocimiento en un lenguaje de programación. [12]

II. METODOLOGÍA

Considerando los principios de la metodología del aprendizaje basado en problemas, se estructuró una propuesta de enseñanza-aprendizaje para el curso de métodos numéricos teniendo objetivos pensados desde el estudiante y el docente.

Desde el punto de vista del estudiante, los objetivos son: desarrollar el pensamiento lógico-matemático con la fundamentación en soluciones a través de los métodos numéricos y el uso de herramientas computacionales para la modelación y simulación de diversos problemas de ingeniería. Adquirir una conciencia real acerca de la utilidad y el valor de las matemáticas en el trascurso de sus estudios de pregrado y posteriormente en su ejercicio profesional. Fomentar las competencias de investigación a través del desarrollo de un proyecto durante el transcurso del semestre, este proyecto involucra las diferentes fases que van desde la recopilación de la información hasta la propuesta de una solución para el problema planteado, también pretende que el estudiante mejore sus competencias de comunicación mediante el uso de diferentes formas de presentar el resultado siendo estas un reporte escrito, artículo científico, poster, etc. Promover el trabajo en equipo y el trabajo autónomo, ya que en gran medida son los propios estudiantes quienes plantean el problema y la solución del mismo.

Desde el punto de vista docente, el objetivo principal es explicar de manera aplicada una serie de conceptos matemáticos complejos para una mayor comprensión apoyado en el uso de herramientas computacionales como recurso metodológico. Entre los temas tratados en el curso se encuentran: Diagrama de flujo algorítmico para una aplicación aeronáutica, aplicación de la ecuación diferencial ordinaria por Euler y métodos para la solución de la ecuación diferencial ordinaria con condiciones iniciales, aplicación de la ecuación diferencial de Runge Kutta de 1er, 2do, 3er, 4to orden, aplicación del método de diferencias finitas para solucionar la ecuación diferencial ordinaria en condiciones de frontera. Implementación algorítmica de la ecuación diferencial parcial elíptica (Laplace/ Poisson).

A. Metodología propuesta

La metodología propuesta se basa en módulos como se presenta en la Fig 2.

- Familiarización: El primer módulo corresponde a la exploración de las bases de datos científicas, los elementos que conforman un artículo científico y estrategias de escritura, y las diferencias de manuscritos. Se busca que los estudiantes del curso se familiaricen con los elementos propios de un artículo y busca motivar a los estudiantes a realicen productos de este tipo.
- Selección del fenómeno: El segundo módulo corresponde a el proceso de selección del fenómeno, en este se busca que los estudiantes mediante la conformación de grupos de trabajo de 3 a 4 integrantes busquen un fenómeno de su interés, el cual pueda ser modelado matemáticamente y resuelto a través de ecuaciones diferenciales mediante la aplicación de métodos numéricos y que su vez permita la elaboración de un algoritmo que represente este fenómeno.

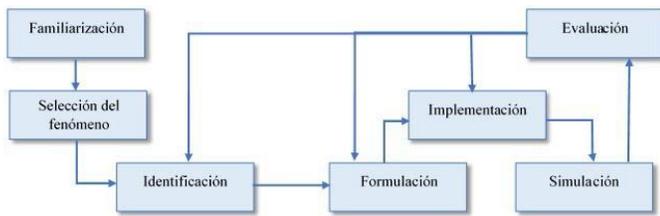


Fig. 2. Diagrama por módulos desde para el desarrollo metodológico implementado en el curso de métodos numéricos.

- **Identificación:** en esta etapa se pretende que el estudiante identifique las principales componentes del fenómeno estudiado, tales como las ecuaciones que lo rigen, los modelos matemáticos aplicables, así como la definición de los parámetros y las condiciones preliminares que se llevarán en consideración para la construcción del modelo.
- **Formulación del problema:** establecido el fenómeno que va a ser estudiado, se procede a la formulación, aquí se pretende establecer las leyes y ecuaciones gobernantes, se establecen las variables, parámetros, y se hace la primera versión del algoritmo y del modelo computacional.
- **Implementación:** determinados los parámetros y demás condiciones del problema, se realiza la implementación de las estructuras matemáticas aplicadas en un código computacional (Matlab, Octave).
- **Simulación:** una vez implementado el código se realiza la simulación del fenómeno, se obtienen los resultados gráficos y numéricos y hace la discusión preliminar de los resultados.
- **Evaluación:** en esta etapa se contrastan los resultados obtenidos en la simulación con la teoría y con otros estudios realizados previamente si es posible, de esta forma es posible determinar si el resultado de las simulaciones es satisfactorio o por el contrario es necesario realizar ajuste. De ser necesario realizar alguna corrección se regresa a las etapas anteriores y se hace nuevamente el ciclo. Una vez obtenido el resultado final, es posible obtener las conclusiones y realizar la construcción del producto final que originalmente se planteó como un poster el cual debe contener la descripción del problema, estado del arte, introducción, materiales y métodos, resultados y análisis de resultados, referencias.

B. Desarrollo de la metodología.

Para el desarrollo de la metodología se realizan las siguientes actividades:

Organización de grupos, en la primera etapa se hace necesario establecer los grupos de trabajo, normalmente conformados por 3-4 estudiantes. Posterior a la conformación de estos, son ellos quienes realizan la búsqueda del fenómeno o problema que desean estudiar y proponer una solución, para

esto los estudiantes deben realizar consultas en bases de datos científicas, artículos y demás literatura que les brinde una mejor comprensión del fenómeno. Una vez seleccionado el tema se realiza un cronograma con cada uno de los grupos y el docente del curso, en él se establecen las fechas de entrega de los reportes de avance, se realizan reuniones semanales por un espacio 20-40 minutos de con cada uno de los grupos conformados, con el objetivo de realizar el seguimiento de las diferentes actividades planteadas con anterioridad y se brinda el espacio para la resolución de dudas de la modelación matemática, el desarrollo previo del algoritmo y el manejo del lenguaje de programación. Adicionalmente a esto los estudiantes reciben una serie de prácticas de laboratorio con el fin de fortalecer el aprendizaje y el manejo del lenguaje computacional. Los laboratorios se encuentran diseñados de manera que el estudiante se familiarice con la interface del software y complete actividades desde una simple operación matemática hasta la solución compleja de un problema matemático o un problema de ingeniería.

Cuando se han cumplido las primeras cuatro etapas de la metodología y se da inicio a la implementación del código computacional se destinan espacios semanales de una hora en el aula de cómputo para que los estudiantes puedan llevar a cabo las actividades propias de implementación y simulación, siempre acompañados por el profesor encargado del curso lo cual permite la resolución de dudas de manera inmediata. En algunas ocasiones por la complejidad del problema se hace necesario que los estudiantes realicen actividades de forma autónoma y en los equipos de cómputo propios, de esta manera en la siguiente sesión programada se hace la revisión y las correcciones de ser necesario. Finalizada la etapa de simulaciones y correcciones se realiza la evaluación de los resultados contrastándolo con la teoría y resultados de otros estudios previos de ser posible, al igual que las etapas anteriores se destina un espacio semanal de reunión con el docente con una duración de entre 30-40 minutos, en el cual se determina si el problema ha sido solucionado de forma adecuada o si por el contrario requiere ajustes adicionales; en caso de requerir correcciones se establecen nuevas sesiones de asesorías en las cuales el estudiante tenga la oportunidad de obtener la retroalimentación suficiente y necesaria que les permita corregir los posibles errores cometidos tanto en las etapas tempranas como son la formulación e implementación. Una vez se obtiene el resultado final se le solicita al grupo de estudiantes que realicen un poster con las características anteriormente descritas y realice una presentación oral del mismo.

Finalmente, los mejores trabajos del semestre son seleccionados por el docente del curso y algunos docentes del programa para continuar trabajando en los semestres futuros y de esta manera se de origen a productos de impacto como lo son la participación en eventos académicos como congresos, seminarios y la publicación de artículos.

III. CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio se realizó en la facultad de Ingeniería Aeronáutica de la Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín, entre los años 2016 al 2021. Durante el año 2016 se realizó el proceso de transición y ajuste entre los cursos de métodos numéricos que pertenecían a la Escuela y el curso de métodos propio del programa. Desde el año 2017 se implementó completamente la metodología propuesta y se ha desarrollado de manera ininterrumpida hasta el año 2021. El curso de métodos numéricos está dentro del plan de estudios del Programa de Ingeniería Aeronáutica, se imparte en el cuarto semestre, los estudiantes del programa deben cumplir con los prerrequisitos de los cursos de estadística y diseño de experimentos, programación y cálculo vectorial.

Con el fin de establecer claramente lo que se desea con la implementación de la metodología propuesta, se remite al Modelo Pedagógico Integrado de la UPB donde se asume un enfoque por Capacidades Humanas y Competencias (CHyC)[13], en el cual se privilegia el aprendizaje, la posición activa del estudiante, el papel de mediador del profesor y la relación docente-estudiante basada en el diálogo y guiada por el reconocimiento de la dignidad del otro como persona, con el fin de hacer énfasis en el desarrollo humano y su impacto en el desarrollo profesional. Las Capacidades Humanas como oportunidades para actuar y las Competencias como concreción de la actuación. De forma más precisa:

- Las Capacidades Humanas para la UPB se definen como las oportunidades que despliega la persona para dar cuenta de actuaciones coherentes con una vida digna. La perspectiva desde la cual se piensan y abordan es el humanismo cristiano [13]. La dignidad desde el Humanismo Cristiano tiene que ver con la plena realización de la persona que es posible por la búsqueda del bien común trascendente para mejorar la vida humana, el goce de la vida y del espíritu y el respeto de la libertad, la igualdad y la justicia.
- Las Competencias definidas como la actuación integral para identificar, interpretar, argumentar y resolver problemas del contexto integrando conceptos y teorías, actitudes y valores, y habilidades procedimentales y técnicas. Para la formación en competencias, la UPB opta por el aprender a aprender como el proceso de estructuración y transformación que el estudiante hace del conocimiento desde la investigación, y no como la simple asimilación de este. Desde esta concepción de aprendizaje se desprenden las lógicas de la enseñanza y sus didácticas que posibiliten el aprendizaje significativo [14]. Este enfoque por Capacidades Humanas y Competencias se resume en las declaraciones explícitas de lo que se espera que el estudiante al finalizar sus estudios sea, en términos de una vida digna; sepa (conocimientos, teorías, conceptos, etc.); sea capaz de hacer (destrezas, habilidades) y valore (la libertad, la relación con los demás, etc.).

De esta manera las capacidades planteadas por el programa [15] que debe adquirir un estudiante en los cursos previos deben ser:

Introspección. Reflexiona, a través de una observación metódica de la propia experiencia, para adquirir conciencia de la realidad circundante y de sí mismo

Pensamiento crítico. Asume una posición fundamental desde el análisis, la síntesis y la asociación para intervenir un fenómeno, a partir del manejo de la incertidumbre, el conflicto y la paradoja.

Pensamiento sistémico. Comprende la realidad, a partir de una mirada integradora entre las partes, sus relaciones y las propiedades que la constituyen, para asumir diferentes perspectivas de solución a los problemas y necesidades humanas.

Imaginación. Considera e interioriza otras formas de pensamiento, de manera que trascienda el entorno inmediato para configurar otros escenarios y otras posibilidades de lo real.

Así mismo las competencias mínimas requeridas por el estudiante para el curso de métodos numéricos:

- Identifica, plantea y resuelve problemas de baja complejidad en el contexto de la ingeniería a través de las matemáticas, y verifica e interpreta resultados, de manera que se generalicen soluciones y estrategias que resuelvan nuevas situaciones.
- Plantea modelos para fenómenos de las ciencias naturales utilizando lenguaje matemático y soluciona e interpreta sus resultados contrastados con la realidad.
- Utiliza herramientas tecnológicas y computacionales para buscar, procesar y analizar información relacionada con las ciencias naturales y matemática.
- Se comunica eficientemente con su entorno, es capaz de expresar sus ideas y sintetizarlas de forma lógica y clara.

De la metodología aquí planteada se han beneficiado en total 388 estudiantes del programa, de los cuales 57 pertenecen al periodo de transición y los 331 restantes al periodo comprendido entre los años 2017 al 2021.

La implementación de la metodología ha impactado directamente en el rendimiento general de los estudiantes, como se refleja en las notas promedio semestrales del curso. Fig. 3. Esta nota corresponde a la nota final del curso y es el promedio todos los estudiantes matriculados en el periodo.

De la Fig.3 se puede determinar que el promedio de notas durante el año 2016 es el más bajo. Esto se puede explicar fundamentalmente a que este periodo corresponde al de transición donde la estrategia metodológica no se había implementado completamente, los cursos se impartían de forma más tradicional y el componente del aprendizaje basado en problemas era relativamente bajo, donde el mayor componente

de evaluación correspondía a pruebas escrita. Se evidencia un cambio en la nota promedio una vez implementada la metodología, manteniéndose por encima de 4.0 en una escala de 5.0, desde el año 2017 y manteniéndose así durante los años subsecuentes. Es importante resaltar que las notas promedio no sufrieron cambios sustanciales por el periodo de confinamiento por pandemia en el periodo comprendido entre el 2020-10 y 2021-20.

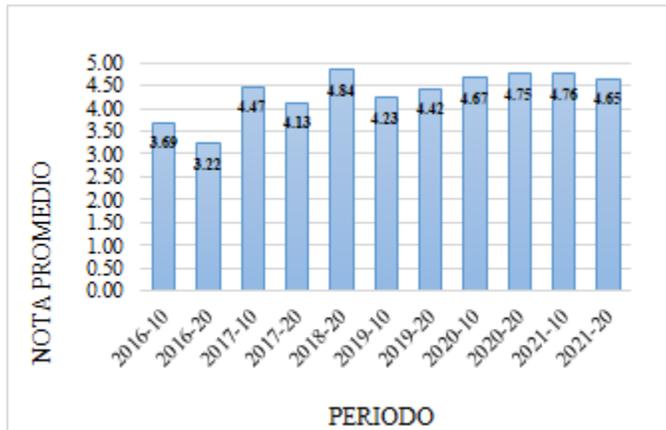


Fig. 3. Notas promedio del curso de métodos numéricos entre los años 2016-2021

En la Fig. 4 se presenta los estudiantes matriculados por semestre y la tasa de reprobación por semestre, en el año 2016-10 se presenta la tasa de reprobación más alta con un 22.5%, esto se explica debido a que durante este periodo la metodología aquí propuesta aun no había sido completamente implementada y se encontraba en el proceso de transición.

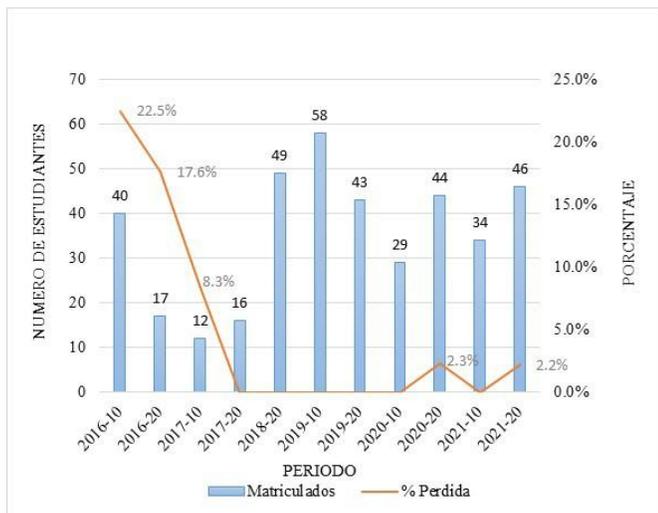


Fig. 4 Estudiantes matriculados vs. Tasa de reprobación de curso

Situación similar ocurre en el año 2016-20, donde la tasa de reprobación aun permanece alta, pero presenta un descenso de cerca de 4 puntos porcentuales. En el año 2017-10 se observa

un cambio de cerca de 9 puntos porcentuales, en el periodo comprendido entre 2017-2 y 2020-10, la tasa de reprobación del curso es de cero, y entre los periodos 2020-20 y 2021-20, se presenta una leve variación en la tasa de reprobación no mayor al 2.5 %, estos justamente coinciden con los periodos de confinamiento y restricciones de movilidad que se presentaron por la pandemia, que hicieron que el curso se realizara de forma presencial mediada por TIC's, lo que pudo influir en el correcto desarrollo del curso y no permitieron cumplir al 100% los objetivos del curso. También se puede evidenciar que el número de estudiantes por semestre no impacta directamente las tasas de pérdidas ni la aplicación de la metodología.

Como resultado de la estrategia aquí planteada se pueden resaltar los logros alcanzados por los estudiantes del curso, entre los que se cuentan múltiples participaciones en eventos de carácter nacional e internacional, y se presentan de forma cronológica y detallada de la siguiente manera:

Año 2016. Presentación de la ponencia "Análisis térmico en una tobera convergente divergente utilizada en sistemas aeronáuticos" en el VIII Congreso Internacional de formación y modelación en ciencias básicas de la Universidad de Medellín,

Año 2017. Presentación de la ponencia titulada "Análisis de elementos de fijación (uniones remachadas) en el recubrimiento de fuselajes", en el Congreso Internacional de formación y modelación en ciencias básicas de la Universidad de Medellín.

Año 2018. Presentación de las ponencias "Modelación Matemática y análisis computacional del comportamiento del flujo de corrientes en zonas urbanas de la ciudad de Medellín" y "Modelación Matemática y simulación computacional para el análisis del flujo de gases de combustión en toberas supersónicas de formas geométricas divergentes" en la Reunión Latinoamericana de Matemáticas Educativas.

Presentación de la ponencia y artículo en memorias indexado titulado "Computational analysis of the thermal behavior on a silica (SiO₂) aerogel coating for applications in the construction industry" en Expo tecnología 2018 y III Summit Internacional de la construcción.

Año 2019. Presentación Ponencia y artículo en memorias titulado. "Modeling of thermal distribution in a convergent-divergent nozzle used in aerospace systems" presentado en el The Seventeen Laccei international multi-conference for engineering, education caribbean conference for engineering and technology "Industry, innovation, and infrastructure for sustainable cities and communities".

Presentación de la ponencia y artículo en memorias indexado titulado. "Computational analysis of the behavior of atmospheric pollution due to demographic, structural factors, vehicular flow and commerce activities" en XV international

conference on computational plasticity, fundamentals and applications

Presentación de la ponencia y artículo en memorias indexado titulado "Computational simulation of the temperature distribution of aerogel based coated and uncoated multilayer panels for thermal insulation" en *Expotecnología 2019 y IV Summit Internacional de la construcción*.

Presentación del poster "Análisis Computacional del comportamiento térmico del Material Aerogel Silica (SiO) utilizado en la construcción de guarniciones militares" presentado en el *Segundo encuentro internacional de ciencia, innovación y tecnología de la Escuela de Infantería y Primer seminario taller de proyectos y proyección del arma*.

Presentación del poster "Análisis computacional de las corrientes de aire que inciden en las operaciones de rescate ejecutadas por aeronaves militares" presentado en el *Segundo encuentro internacional de ciencia, innovación y tecnología de la Escuela de Infantería y Primer seminario taller de proyectos y proyección del arma*.

Año 2020. Presentación de la ponencia y artículo en memorias indexado titulado "Computational simulation of stress distribution in a magnesium matrix composite reinforced with carbon nanotubes" presentado en el *Workshop on engineering application and international WEA 2020*.

Presentación de la ponencia y artículo en memorias indexado titulado "Computational Plane Strain Tests of Epoxy Resin Reinforced with Glass Fibers" presentado en el *Workshop on engineering application and international WEA 2020*.

Presentación de la ponencia titulada. "Transport and deposition simulation of pollution particles in pediatric airway" *Expotecnología 2020*.

Año 2021. Presentación del poster titulado "Numerical analysis of mechanical behavior in composite material of magnesium – carbon nanotubes" en la *XXVII Conference of computer methods in materials technology*.

En total se han obtenido doce productos de circulación y apropiación del conocimiento, que involucra alrededor de 40 estudiantes, lo cual representa un 10.8 % de los participantes del curso que han tenido la oportunidad de presentar sus trabajos fuera del aula de clase.

IV. CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología ABP al inicio de la implementación es un poco compleja debido a que se requiere un mayor trabajo y compromiso del docente en la estructuración del curso, el planteamiento de las actividades y la organización general del modelo. Sin embargo, una vez implementada es un recurso importante para los actores del proceso enseñanza-aprendizaje dado que permite potenciar las capacidades de los estudiantes ya que estos últimos se convierten en los

responsables de su propio aprendizaje. La aplicación de la metodología no solo influye de manera positiva en la adquisición del conocimiento matemático propio del curso, si no en la motivación que tienen los estudiantes por el aprendizaje de las matemáticas y su aplicación en las diversas áreas.

Como se evidencia en el caso de estudio los resultados son más que satisfactorios, mostrando no solo el incremento en las notas promedio obtenidas por los estudiantes y en la reducción en la tasa de reprobación. Además, ha permitido a los estudiantes no solo mejorar sus capacidades y competencias en exclusivas en pensamiento lógico – matemático, crítico y científico, si no las competencias relacionadas con el trabajo en equipo, comunicativas y el aprendizaje autónomo, como se evidencia en la cantidad de productos realizados por ellos.

La participación de los estudiantes en las publicaciones y actividades de circulación de conocimiento han suscitado el interés de los mismos por participar de forma más activa en el curso, ya que lograr estar en alguna de estas actividades no solo es un reconocimiento al trabajo realizado en el semestre, sino que ha representado beneficio para ellos en actividades realizadas posteriormente tanto en el ámbito académico como laboral.

REFERENCIAS

- [1] Santos Guerra, M.A. Corazones, no solo cabezas en la universidad. Los sentimientos de los estudiantes ante la evaluación. *Revista de Docencia Universitaria*, 13(2), 125-142 (2015)
- [2] Batistello, P., & Cybis Pereira, A. T. El aprendizaje basado en competencias y metodologías activas: aplicando la gamificación. *Revista Científica De Arquitectura Y Urbanismo*, 40(2), 31-42. Recuperado a partir de <https://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/536>. (2019)
- [3] Travieso Valdés, Dayana, & Ortiz Cárdenas, Tania. (2018). Aprendizaje basado en problemas y enseñanza por proyectos: alternativas diferentes para enseñar. *Revista Cubana de Educación Superior*, 37(1), Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0257-43142018000100009&lng=es&tlng=es.
- [4] Sologuren, Enrique; Núñez, Carmen Gloria; González, María Isabel. La implementación de metodologías activas de enseñanza-aprendizaje en educación superior para el desarrollo de las competencias genéricas de innovación y comunicación en los primeros años de Ingeniería. *Cuaderno de Pedagogía Universitaria*, ISSN-e 1814-4152, ISSN 1814-4144, Vol. 16, N°. 32, (Ejemplar dedicado a: Cuaderno de Pedagogía Universitaria), págs. 19-34. 2019
- [5] Hernández Crespo, C.; Pachés Giner, MAV.; Romero Gil, I.; Mengual Cuquerella, J.; González Romero, JA.; Barat Baviera, R.; Paredes Arquiola, J.. Diseño, aplicación y evaluación de metodologías activas de aprendizaje, utilizando TIC en el ámbito de la ingeniería ambiental. En *IN-RED 2019. V Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Editorial Universitat Politècnica de València. 972-980. <https://doi.org/10.4995/INRED2019.2019.10465>

- [6] Serna Gómez, H., Díaz Peláez, A., Arias, J. D. B., Ramos, C. E. P., Myer, P. J. P., Palacio, O. A. G., ... & Ceballos, E. J. A. (2013). Metodologías activas del aprendizaje.
- [7] Barrows H.S. A Taxonomy of problema based learning methods, *Medical Education*, 20: 481-486. 1986
- [8] Morales Bueno, P. Y Landa Fitzgerald, V. (2004). Aprendizaje basado en problemas. *Theoria*, 13(1), 145-157. Recuperado de: http://campus.usal.es/~ofees/NUEVAS_METODOLOGIAS/ABP/13.pdf
- [9] Barrows H. Problem-Based learning in medicine and beyond: A brief overview. In WILKERSON L., GIJSELAERS W.H. (eds) *Bringing Problem-Based Learning to Higher Education: Theory and Practice*, San Francisco: Jossey-Bass Publishers, pp. 3-12
- [10] Mann, L., Chang, R., Chandrasekaran, S., Coddington, A., Daniel, S., Cook, E., Crossin, E., Cosson, B., Turner, J., Mazzurco, A., Dohaney, J., O'Hanlon, T., Pickering, J., Walker, S., Maclean, F., & Smith, T. D. (2020). From problem-based learning to practice-based education: a framework for shaping future engineers. *European Journal of Engineering Education*, 14(1), 27 – 47
- [11] Chapra, S. C. (2012). *Applied numerical methods with Matlab for engineers and scientists*. New York: McGraw-Hill Companies
- [12] Abdul Baist, Ahmad Fadillah, Dian Nopitasari Students Self Regulated Learning in Numerical Methods Course using Computational Mathematics Teaching Materials. *Malikussaleh Journal of Mathematics Learning (MJML)* Vol. 2 No 1, May 2019, pp 1-4. ISSN 2620-6315 (print), 2620 - 6323 (online)
- [13] Proyecto Educativo Institucional. Vicerrectoría Académica. Universidad Pontificia Bolivariana, PEIUPB, 2016.
- [14] Modelo Pedagógico Integrado. Vicerrectoría Académica. Universidad Pontificia Bolivariana, MPI-UPB, 2015.
- [15] Mapa de capacidades y competencias. Programa de Ingeniería Aeronáutica. Universidad Pontificia Bolivariana. 2021