

ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DEL CÁLCULO INTEGRAL DESDE MODELOS APLICADOS A INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Elsa Liliana Guzmán Rincón
Universidad Santo Tomás
Departamento de Ciencias Básicas
Tunja, Colombia
elsa.guzman01@usantoto.edu.co

Luz Adriana Pabón Cachope
Universidad Santo Tomás
Departamento de Ciencias Básicas
Tunja, Colombia
luz.pabon@usantoto.edu.co

RESUMEN

El aprendizaje del Cálculo Integral, en los estudiantes de segundo semestre de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, presenta un alto porcentaje de mortalidad académica, desmotivación y desinterés por la asignatura, ya que no se contextualiza en problemas de ingeniería, sino que se desarrolla de forma magistral a partir de libros de texto. Se desarrolló una estrategia didáctica guiada por la metodología del Aprendizaje Basado en Problemas, que favorece la abstracción y comprensión de los conceptos relacionados con técnicas de integración, sólidos de revolución, centros de masa, trabajo, esfuerzo y momentos; solucionando problemas de sus áreas de estudio. La metodología desarrollada inicio con una prueba de diagnóstico, posteriormente con apoyo de software se interpolaron y obtuvieron funciones; los estudiantes investigaron problemas de aplicación y a partir de estos se asignaron o modelaron las funciones con las cuales trabajar, elaboraron maquetas a escala de un acuífero, “ecocoptero”, turbina de pelton, diseño de tanques, energías renovables, diseño de puentes, taladros, mezcladoras, domos, reloj de luz solar, tuneladora, entre otros. Estos proyectos evidencian la aplicación de los sólidos como herramientas para dar solución a problemas de la ingeniería. Finalmente, sustentan sus proyectos desarrollando pensamiento geométrico espacial, habilidades comunicativas, dominio de público, trabajo en equipo, potenciación de la creatividad, uso de materiales reciclables; en donde exponen los conocimientos adquiridos de integrales, mostrando motivación e interés por el aprendizaje del Cálculo Integral, así como, una mejora considerable en la relación estudiante-docente, el ambiente escolar, las calificaciones obtenidas y la interdisciplinariedad de los dos programas de Ingeniería.

Palabras Clave: *Cálculo integral; Educación Superior; Enseñanza; didáctica*

ABSTRACT

Integral calculus learning, for second semester of Civil and Environmental engineering at Santo Tomás University, Tunja sectional, shows a high academic mortality percentage, demotivation and disinterest about the subject, since it does not contextualises engineering problems, but it is developed in lecture type of classes starting with text books. A strategy was developed guided by PROBLEM BASED LEARNING methodology, which favours abstraction and comprehension of concepts related with integration techniques, solids of revolution, center of mass, work, efforts and moments; by solving problems in their study fields. The method developed began with a diagnostics test, and then with the aid of specialised software the results were interpolated and functions were obtained; the students looked up for application problems and from here the functions were assigned for work, making scale models for a water bearer, ecocopter, Pelton turbine, tank design, renewable energies, bridges design, drill, mixers, domes, solar watch, TBMs among others. These projects support the application of solids as tools for solving engineering problems. Finally, they show their projects developing spatial geometric thinking, communication skills, public domain, team work, creativity, use of recycled materials; where they expose the integrals obtained knowledge, showing motivation and interest for the integral calculus, as well as a noticeable improvement in the relationship student-teacher, scholar environment, grades and also the interdisciplinarity of two engineering programs.

Keywords: *Integral calculus; higher education; teaching; didactics*

INTRODUCCIÓN

El propósito de este proyecto de aula se centra en el aprendizaje del Cálculo Integral, como asignatura del componente básico de los Programas de Ingeniería Civil e Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás Tunja. A partir de la experiencia en la orientación de la asignatura se ha podido evidenciar las dificultades en la comprensión de los

conceptos propios del Cálculo Integral, técnicas de integración, aplicaciones de la integral, lenguaje matemático y uso de las matemáticas en su formación profesional. Es necesario incentivar en el estudiante habilidades que le aporten a su perfil profesional y ocupacional en los cuales puede estar presente la matemática como herramienta útil en sus campos de formación.

Frente al papel del docente y siguiendo a Santo Tomás, “el maestro es un facilitador y motivador del aprendizaje y el estudiante debe descubrir por sí mismo el conocimiento

mediante el cuestionamiento constante de su realidad, posibilitando la indagación y el criterio de valoración que permiten el discernimiento para ver, juzgar y actuar frente al mundo y sus problemas” [1], se propuso la enseñanza del Cálculo Integral a partir del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) como didáctica, en donde el estudiante se enfrenta a las realidades de su campo de acción, que según Kolmos, pueden ser temas de disciplinas con especificación de los métodos que se desean aprender mediante el trabajo por proyectos [2]. El interés principal estuvo centrado en el uso de las técnicas de integración, sólidos de revolución, centros de masa, trabajo, esfuerzo y momentos; solucionando problemas de sus áreas de estudio.

La motivación de los docentes en el desarrollo de la estrategia busco dar respuesta a diversas problemáticas encontradas en los estudiantes, como son: deserción y mortalidad en los primeros semestres de formación, ausentismo en las áreas de matemáticas, no reconocimiento por parte de los estudiantes de la importancia de las matemáticas en su formación profesional, dificultad en el uso del plano bidimensional y tridimensional, falta de abstracción e interpretación de resultados, y distancia entre las matemáticas y su área de formación.

Hernández Fernández, frente a la Educación Superior, argumenta que la introducción de métodos que tomen en cuenta la utilización de tecnologías de información y comunicación, deberá ser en tres vertientes: como medios de enseñanza, como medios de aprendizaje, como medio de investigación y resolución de problemas reales [3]. De esta forma, se inicia con la simulación de sólidos de revolución en software libre, Geogebra, así como explicación teórica y construcción de conceptos de los diferenciales de volumen y la construcción de las integrales. Como consecuencia, los estudiantes investigan alrededor de problemas que involucren el estudio de los sólidos en Ingeniería Civil y Ambiental. Finalmente, elaboran el montaje del sólido de revolución junto con las aplicaciones.



Figura 1 Estudiante segundo semestre Ingeniería Civil

Finalmente, sustentan sus proyectos desarrollando pensamiento geométrico espacial, habilidades comunicativas, dominio de público, trabajo en equipo, potenciación de la creatividad, uso de materiales reciclables; en donde exponen los conocimientos adquiridos de integrales, longitud de arco, volumen del sólido y valor promedio, mostrando motivación e interés por el aprendizaje del Cálculo Integral, así como, una mejora considerable en la relación estudiante-docente, el ambiente escolar, las calificaciones obtenidas y la interdisciplinariedad de los dos programas de Ingeniería.

I. METODOLOGÍA

En los últimos cuatro semestres académicos se observaron dificultades en la comprensión de conceptos relacionados con la integral y el desarrollo continuo de ejercicios de texto en las clases. Así mismo, es notoria la alta mortalidad durante estos períodos y la repitencia, inclusive por cuarta vez de la asignatura. Holton en referencia al aprendizaje de las matemáticas en los primeros semestres universitarios investiga sobre las problemáticas que se presentan. [5] En el último año, se hizo énfasis en la solución de problemas que involucraran aspectos propios de la ingeniería.

Inicialmente, en cada uno de los semestres, se desarrollaron de forma magistral los temas: antiderivada, sumas de Riemman, integral definida e integración por sustitución. Se realizó una prueba escrita unificada, sobre la cuarta semana, que arrojó bajos desempeños, posteriormente se evaluó de forma oral, con el ánimo de permitir al estudiante expresarse y superar las posibles deficiencias en estos temas. Sin embargo, los resultados no fueron los esperados.

Se realizaron una serie de encuestas indagando sobre las dificultades que estaban teniendo los estudiantes en la asignatura, la mayoría expresó cansancio frente a todo lo exigido en las diferentes materias que cursan durante el semestre, lo que les generó confusión entre las mismas. De hecho, en el PEI Institucional dice “Si definir problemáticas, como vía para hallar soluciones, parece ser el desafío de la formación profesional, los currículos no podrán girar en torno a disciplinas o asignaturas agregadas o yuxtapuestas, sino que deberán activar los procesos de enseñanza-aprendizaje en torno a preguntas y problemas. Los currículos deberán partir de núcleos problemáticos (realidades y teorías) que den sentido a la búsqueda de respuestas y a la integración de disciplinas”. [4]

Frente al Cálculo Integral, expresaron tener poco interés dado que no lo veían como esencial y fundamental en su carrera. Además, de la difícil comprensión de los conceptos al ser teóricos y abstractos, manifestaron que sería mejor si las clases se relacionaran con la ingeniería y fueran más prácticas. Además, incluir el uso de herramientas informáticas que les ayudarán a visualizar de forma gráfica los conceptos.

Finalmente, que la evaluación no se limite a pruebas escritas, en las que es fácil olvidar algo y truncar los demás procedimientos.

Con la problemática identificada, se realizó una reunión de los docentes responsables de orientar asignaturas en la Facultad de Ingeniería. La idea central consistía en la búsqueda de estrategias didácticas y pedagógicas que motivarán a los estudiantes hacia el aprendizaje de la asignatura, así mismo, para disminuir la mortalidad. En las alternativas se contempló el trabajo por proyectos, mediación con uso de TIC's y tutorías obligatorias. Cada de una de estas didácticas de libre elección por cada docente.

En cinco de los cursos, dos de Ingeniería Ambiental y tres de Ingeniería Civil, se optó por el Aprendizaje Basado en Problemas organizado por proyectos, que busca que el estudiante sea partícipe de la construcción de sus conocimientos. Artigue enuncia la formalización que se requiere en niveles universitarios y que obliga al alumno a romper con el trabajo algebraico ordinario y a reconstruir significados [6]. Por esto, se organizaron grupos de cuatro estudiantes, cada grupo responsabilizado de consultar bibliografía, infografía, bases de datos y expertos sobre el uso e importancia de la matemática en ingeniería, así como de las diversas aplicaciones. Esto les tomó aproximadamente dos semanas, con los resultados obtenidos se realizó una lluvia de ideas, seleccionando las mejores propuestas para ser ejecutadas.

Se destinó otro espacio de tiempo para complementar la información teórica, y para identificar con que conocimientos contaban los estudiantes y que hacia falta por aprender. El énfasis de todos los proyectos fueron los sólidos de revolución, dado que permitían modelar procesos y fenómenos de ingeniería. Alternó, al desarrollo del proyecto se fue tratando el tema de Sólidos de Revolución, en donde surgieron integrales que no se podían solucionar por el método de sustitución, lo que dió origen al desarrollo de técnicas de integración de acuerdo a las necesidades académicas de los estudiantes. Se realizó el análisis de las funciones que permitirán ajustar los modelos elegidos, en otros casos fue necesario hacer interpolación para modelar u obtener la función que generará el respectivo sólido.

En esta etapa, el uso de Software Libre Geogebra fue de gran apoyo al activar el proceso visual, permitiendo analizar las características de las funciones, identificando puntos de corte con los ejes, puntos de inflexión, las diferencias obtenidas dependiendo del eje de rotación, entre otras. Así mismo, analizar el área total, teniendo en cuenta que el resultado obtenido en Geogebra anula el área de la región por debajo del Eje x . Rosken y Rolka en su trabajo sobre el papel de la visualización en el aprendizaje de las matemáticas, identificaron dificultades como: "no establecen la diferencia entre integral y área; falta de comprensión de que el integrando puede ser dado por una función constante; no visualizan el área de la parte de la gráfica que está bajo el eje x ; inclinación a la utilización de un enfoque

algorítmico en lugar de la visualización para tareas que serían resueltas sencillamente por medio de la visualización" [7]. Esto, exige al estudiante no sólo copiar resultados de programas simbólicos sino interpretar y analizar dichos casos.

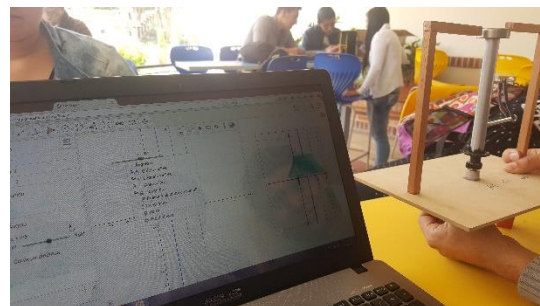


Figura 2. Simulación en Geogebra

Posteriormente, con las funciones definidas los estudiantes realizaron los cálculos analíticos necesarios para la obtención de la longitud de arco, volumen del sólido de revolución, área de la superficie de revolución y función promedio. En algunos casos, este proceso fue difícil, dado que las funciones no eran comunes y las integrales no fue posible resolverlas por métodos analíticos, lo que obligó a los estudiantes a aprender métodos numéricos, tema que no hace parte de los contenidos temáticos del semestre.

A partir de esta etapa, los estudiantes realizaron los montajes de sus sólidos de revolución, en maquetas con la característica de ser dinámicas, y buscando ser lo más fieles a la realidad estudiada. Se realizó una sustentación de los grupos en cada curso, haciendo énfasis en las aplicaciones al programa de formación profesional al cual pertenecen, y en la parte analítica que involucra el estudio de Cálculo Integral.

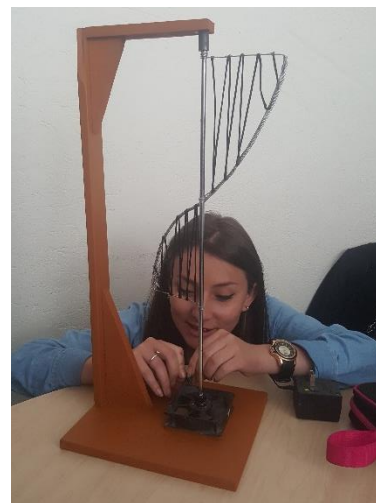


Figura 3. Función cúbica, "Reloj Solar"

Por último, los estudiantes participaron en una jornada de socialización de experiencias en donde demostraron el desarrollo de habilidades comunicativas, creatividad, y especialmente dominio del tema. Dicha socialización la realizaron ante expertos de las áreas de matemáticas, física, química, biología e ingeniería, demostrando sólidos conocimientos y argumentos válidos, que fueron tenidos en cuenta como proceso de evaluación formativa e integral.



Figura 4 Sustentación de proyectos

II. REFERENTES TEÓRICOS

En este apartado, se muestra una revisión sobre algunas investigaciones y autores que han trabajado sobre Modelación Matemática (MM) en diferentes niveles educativos a través del desarrollo de proyectos.

En cuanto al modelaje de situaciones matemáticas y el trabajo por proyectos, Gómez expresa que la incorporación de este tipo de experiencias propicia la adquisición de competencias y capacidades para desenvolverse satisfactoriamente en el mundo actual, colocando a disposición de los estudiantes un conjunto de recursos que les permite entender en forma más amplia la aplicabilidad de los conceptos y procesos matemáticos [8].

Así mismo, dentro de los factores favorables que tiene el modelaje de situaciones mediante el trabajo por proyectos, están: desarrollo tanto de la capacidad para resolver problemas como de la capacidad crítica de la matemática en la sociedad [9, citado en [10]]; ayuda a comprender conceptos y métodos matemáticos, puesto que modelar permite analizar el comportamiento de numerosos fenómenos en forma aproximada [9]; favorece la creatividad y curiosidad matemática en descubrimientos, lo cual motiva a que los estudiantes perciban las necesidades reales de los contenidos. [[8], y [11], citado en [10].

En cuanto a la importancia de las aplicaciones, frente a la motivación Griffiths & Howson, expresan que aquellos estudiantes que no manifiestan un interés por la matemática pueden ser persuadidos a aprender matemáticas por las aplicaciones, de ahí que sean vistas como una herramienta para

solucionar problemas prácticos [[12] citado en [10]]. Por otro lado, las aplicaciones y el modelaje pueden ser trabajados como dos medios adecuados para desarrollar competencias en los alumnos. De este modo se estimula su interés por el descubrimiento, la creatividad y la confianza en sus actividades y recursos [10]. Otra de las bondades que justifica los proyectos es que ayuda a desarrollar la creatividad en el sentido que este tipo de trabajo requiere de la flexibilidad para asumir determinadas tareas, como imaginación, capacidad de riesgo, autonomía en la toma de decisiones, capacidad de síntesis y coherencia en la organización del pensamiento reflexivo frente a situaciones nuevas [[13] & [14] citado en [10]].



Figura 5 "Ecocóptero" Diseñado por estudiantes de Ingeniería Ambiental

En referencia al desarrollo por competencias, y las habilidades que deben tener los profesionales, la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, ACOFI, expresa como habilidades de los estudiantes: Conocimientos suficientes de Matemáticas, Física e Informática, Vocación por la relación teoría/práctica del mundo físico, y habilidades heurísticas. Además de sugerir como características básicas del curriculum de ingeniería las siguientes:

1. Predominio del componente formativo sobre el informativo. Solidez en la formación en Ciencias Básicas: Matemáticas, Física, Química e Informática. Objetivo: aprender a aprender de por vida.
2. Formación específica en una rama de la ingeniería con suficiente cantidad y calidad de conocimiento. Objetivo: aprender a hacer.
3. Necesaria formación complementaria en áreas de la Economía, Idiomas, Social y Administración. Objetivo: aprender a ser. [15]

III. RESULTADOS

La estrategia didáctica utilizada arrojó resultados favorables; los estudiantes mostraron una mayor disposición para el trabajo en equipo, motivación por el aprendizaje de las matemáticas, incremento de la creatividad, procesos de interpretación y análisis, uso de herramientas tecnológicas, aproximación al aprendizaje de los métodos numéricos, modelación de

funciones, jerarquización de la información, habilidades comunicativas, desarrollo de pensamiento crítico, y especialmente el aprendizaje de las técnicas de integración y su relación con la construcción de su perfil profesional. Se encontró que al finalizar el semestre los estudiantes contemplaban las matemáticas como una necesidad fundante en sus programas.

Al indagar a los estudiantes sobre las ventajas del trabajo por proyectos se encontraron respuestas como:

- “Tiene beneficios para tratar el tema y lograr entender con claridad llevándolo a la práctica”
- “Ayuda a desarrollar nuevas aplicaciones con base en los conocimientos adquiridos en clase”
- “Hace que nos interese más por el tema, también vemos la funcionalidad de las integrales en la vida cotidiana”
- “Porque no nos aburriríamos”

Así mismo, se les pregunto “Qué cosas siente que ha superado a nivel personal con el desarrollo de este trabajo”, las respuestas obtenidas se resumen en:

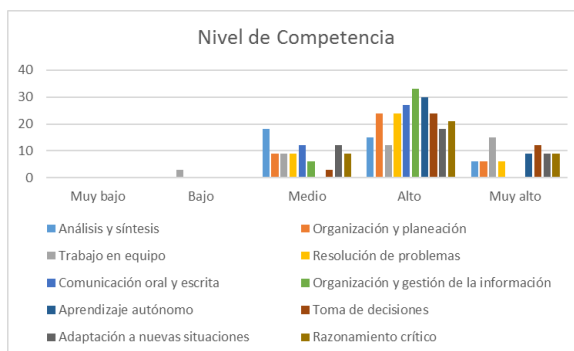
- “Trabajo en grupo”
- “Se siente la satisfacción por el compromiso y los resultados del proyecto”
- “El lograr construir diseños aplicando temas de mi carrera”
- “La capacidad de solucionar problemas no tan comunes”
- “Aunque este en segundo semestre ya puedo realizar trabajos sobre mi carrera y eso me motiva”
- “La creatividad a la hora de buscar una función en la vida cotidiana para una integral”
- “Me permitió desarrollar mi capacidad crítica y creativa”

Por otro lado, la estrategia sirvió como método de evaluación, las calificaciones mejoraron considerablemente y los estudiantes expresaron como ventaja del trabajo por proyectos frente a las pruebas escritas:

- “los conocimientos se están aplicando directamente a algo que esta hecho en 3D y este método se podría aplicar para siempre”
- “En que podemos expresar con mejor fluidez nuestras ideas y el comprender el tema”
- “las pruebas escritas para un estudiante causan un nivel de trauma”
- “Es más sencilla pero al tiempo requiere más trabajo”
- “Creo que favorece la argumentación por parte del estudiante, es decir que no existan tal vez errores por no saberse explicar a la hora de completar un examen escrito”

- “Hay más oportunidad de poner a prueba nuestro ingenio ya que en mi concepto soy muy bueno para lo que realizamos plasmar ideas, ese método en lo personal me parece mucho más bueno”

En cuanto, al nivel alcanzado en el desarrollo de competencias, se encontró que los estudiantes manifiestan haber desarrollado en un alto nivel las habilidades de organización y gestión de la información, trabajo en equipo, aprendizaje autónomo y, análisis y síntesis. A su vez, se ubican en un nivel muy alto frente al trabajo en equipo.



En los resultados obtenidos con referencia al tema de estudio, se logró que los estudiantes presentarán un buen desempeño en el manejo y apropiación de los conceptos, métodos y aplicaciones de las integrales. Además, de ser capaces de defender y validar sus argumentos matemáticos utilizados en la resolución de los problemas. Comprendieron que no es suficiente con utilizar las TIC's para obtener resultados, sino que deben ser interpretados de acuerdo a la situación o caso de estudio.

Los estudiantes adquirieron la capacidad para elegir entre los métodos de cascarones y discos de acuerdo a su sólido de revolución y finalmente como expresa Aravena, “en el diálogo de los alumnos constataremos la forma como se enfrentan a los problemas, el aporte de nuevas ideas en su resolución y el análisis de situaciones” [10].

Se desarrolló el pensamiento geométrico como ayuda para establecer diferencias y relaciones entre el plano bidimensional y tridimensional.

IV. CONCLUSIONES Y DISCUSIONES

Con el trabajo desarrollado y los resultados obtenidos es posible argumentar que fue una estrategia didáctica exitosa, que permitió elevar el nivel de desempeño de los estudiantes, mejorar la actitud frente a las asignaturas y en general comprender la necesidad de las matemáticas como base en la formación de ingenieros. Como expresa un estudiante: “es más fácil aprender de forma práctica y más si es algo que se aplique a la carrera en la que nos enfocamos” lo cual esta en

concordancia con lo que argumenta Aravena: “realza el aspecto formativo de la matemática estimulando el interés por el descubrimiento”.

Al finalizar los proyectos, los estudiantes trascendieron las barreras impuestas por el asignaturismo propio de los currículos, relacionaron la asignatura con su proyecto de vida y su formación profesional. Se relacionaron mejor con sus compañeros y con los docentes e inclusive trabajaron con estudiantes de otro curso. Uno de los estudiantes expresa “sería excelente una integración de todas las asignaturas para así lograr una mayor experiencia y aprendizaje” que en palabras de Aravena, prepara a los alumnos para enfrentar y superar dificultades en el medio externo.

Para finalizar, en cuanto a estas estrategias didácticas, tomamos las palabras del profesor Ribeiro quién las considera eficientes, integradoras, motivadoras y capaces de aumentar la autoestima de los estudiantes por favorecer un proceso activo de enseñanza. Además de producir un cambio relacionado con el significado de la investigación para los futuros ingenieros, ayudándoles a enfrentar nuevos desafíos que les requiere una toma de decisiones [[16] citado en [17]].

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, en especial a las Facultades de Ingeniería Civil y Ambiental, así como al Departamento de Ciencias Básicas, por el compromiso y apoyo para permitir dinamizar los procesos académicos a través de nuevas experiencias educativas.

A los estudiantes de segundo semestre de Ingeniería Ambiental y Civil, que aceptaron el reto en la asignatura de Cálculo Integral, quiénes demostraron un alto nivel de compromiso, creatividad y responsabilidad, inclusive con el medio ambiente.

REFERENCIAS

- [1] Universidad Santo Tomás, Proyecto Educativo Facultad, Tunja, 2010.
- [2] A. Kolmos, «Estrategias para desarrollar currículos basados en la formulación de problemas y organizados en base a proyectos,» *Educación*, pp. 77-96, 2004.
- [3] H. Hernández Fernández, J. R. Delgado Rubí y B. Fernández de Alaíza, «Conceptos y procedimientos en la educación polimodal y superior,» *Cuestiones de didáctica de la matemática*, 1998.
- [4] Universidad Santo Tomás, Proyecto Educativo Institucional, Bogotá, 2004.
- [5] D. Holton, The teaching and learning of maths of Univerity level: an ICMI study, 2003.

- [6] M. D. R. M. L. & G. P. Artigue, Ingeniería didáctica en educación matemática, 1995.
- [7] B. y. R. K. Rosken, «A picture worth a 1000 words – the role of visualización in mathematics learning,» de *Proceedings 30th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, Prague, 2006.
- [8] J. Gómez, Contribució a l'estudi dels processos de modelització a l'ensenyament/aprenentatge de les matemàtiques a nivel universitari, Barcelona, 1998.
- [9] M. Niss, «Aim and scope of applications and modelling in mathematics curricula,» *Applications and modelling in learning and teaching mathematics*, pp. 22-32, 1989.
- [10] M. Aravena, C. Caamaño y J. Gimenez, «Modelos matemáticos a través de proyectos».
- [11] C. Alsina, «Neither a microscope nor a telescope, just a mathscope,» de *International Community of Teachers of Mathematical Modelling and Applications*, 1998.
- [12] H. B. & H. A. G. Griffiths, «Mathematics: society and curricula,» *Cambridge University Press*, 1974.
- [13] P. Abrantes, O trabalho de projecto e a relação dos alunos com a matemática a experiência do projecto MAT789, Lisboa, Portugal: Tesis doctoral no publicada, 1994.
- [14] M. Letelier y R. y. M. M. López, Educación para el desarrollo. Hacia una cultura de educación innovativa, Chile, Santiago: Centro de Investigación en Creatividad y Educación Superior, Universidad de Santiago, 1994.
- [15] F. Restrepo, «El ingeniero colombiano del 2020 Retos para su formación,» de *Perspectivas de las facultades de ingeniería hacia el futuro*, Bogotá, 2007.
- [16] M. V. Ribeiro, O ensino do conceito de integral, em sala de aula, com recursos da História da Matemática e da Resolução de Problemas, Sao Paulo: Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, 2010.
- [17] E. Crisóstomo dos Santos, Idoneidad de procesos de estudio del Cálculo Integral en la formació de profesores de matemáticas: una aproximación desde la investigación en didáctica del cálculo y el conocimiento profesional, Granada: Tesis Doctoral, 2012.