



UDEC
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA



GENERACIÓN SIGLO 21

Educación, ciencia y tecnologías

emergentes para la
generación del siglo 21

Libro digital, resultado de investigación

Facultad de Ingeniería
Universidad de Cundinamarca



UDEC
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA

Compilador (Ed.)

Jairo Eduardo Márquez Díaz
Facultad de Ingeniería

Márquez Díaz, J. E. (Comp.)

Educación, ciencia y tecnologías emergentes para la generación del siglo 21

Fusagasugá: Editorial de la Universidad de Cundinamarca. 2019. 345 p.

ISBN: 978-958-52032-4-2

DOI: <http://dx.doi.org/10.6084/ijact.v8i3.786>



Editorial
UCundinamarca



UDEC
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA

Primera Edición, 2019

© Universidad de Cundinamarca, 2019

Dirección de Investigación

Facultad de Ingeniería. Extensión Chía

Universidad de Cundinamarca

<https://www.ucundinamarca.edu.co//>

investigación@ucundinamarca.edu.co

Dg 18 No. 20-29 Fusagasugá

Editorial de la Universidad de Cundinamarca

editorial@ucundinamarca.edu.co

Compilador-Editor: Jairo Eduardo Márquez Díaz

Revisión editorial: Rosemberg del Carpio

Corrección de estilo: Yesid Castiblanco Barreto

Diseño editorial: Zulma Milena Useche Vargas

ISBN: 978-958-52032-4-2

DOI: <http://dx.doi.org/10.6084/ijact.v8i3.786>

Prohibida la reproducción total o parcial de este libro, sin permiso previo y por escrito de los titulares del copyright. Los conceptos aquí expresados son responsabilidad exclusiva de sus autores y no necesariamente representan la posición oficial de la Universidad de Cundinamarca.

No comercial: no se puede utilizar esta obra con fines comerciales de ningún tipo. Tampoco se puede vender esta obra bajo ningún concepto ni publicar estos contenidos en sitios web que incluyan publicidad de cualquier tipo.

El presente libro ha sido fruto de los aportes del VII Congreso Internacional de Ingeniería "Tecnologías emergentes para la generación del siglo 21. Diseñando el futuro de la educación" realizado el 18 y 19 de octubre de 2018, que fue organizado por la Decanatura de la Facultad de Ingeniería y el Comité de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cundinamarca extensión Chía en coordinación con las extensiones de Facatativá y Soacha, la seccional de Ubaté y la sede de Fusagasugá.

En cuanto a la información consignada en el presente documento, fue revisada y analizada por pares evaluadores externos doble ciego de la Universidad Militar Nueva Granada con el fin de garantizar una valoración crítica e imparcial sobre la calidad de los manuscritos, por lo cual los autores fueron informados sobre las recomendaciones dadas por los pares para realizar los respectivos cambios o ajustes del caso, para finalmente ser aprobados por la Coordinación y el Comité Editorial.

El desarrollo del congreso mencionado y el resultado final representado en el presente libro fue posible gracias a:

Dr. Adriano Muñoz Barrera

Rector

Dr. Pablo Emilio Flórez Vargas

Vicerrector Académico

Dr. José Zacarías Mayorga Sánchez

Director de Investigación Universitaria

Ing. Wilson Joven Sarria

Decano de la Facultad de ingeniería

Comité organizador

Eduard Neftalí Gutiérrez Rodríguez

Jairo Eduardo Márquez Díaz

Misael Fernando Perilla Benítez

Luis Gabriel Rojas Albarracín

Edison Gustavo Cañón Varela

Javier Hernando Gracia Gil

Jorge Páramo Fonseca

Arles Prieto Moreno

Wilson Joven Sarria

Comité editorial

Jairo Eduardo Márquez Díaz

Wilson Joven Sarria

Agradecimiento especial

La Universidad de Cundinamarca agradece de manera muy especial a los participantes ponentes del congreso, por compartir sus conocimientos con la comunidad académica udecina y aportar al desarrollo del presente libro:

Ph. D. José Antonio Sánchez
Universidad de São Paulo (Brasil)

Ph. D. Jonathan Venegas Sandoval
Universidad de Monterrey (México)

Ph. D. Juan Manuel Cueva Lovelle
Universidad de Oviedo (España)

Ph. D. Alfonso Enrique Núñez Nieto
Vicepresidente de Operaciones
e Iniciativas Especiales
Refinería de Cartagena (Colombia)

Dr. Chen Chitao
Huawei Colombia

M. C. John Alexis Méndez Lara
Universidad Nacional de Colombia

M. C. Erich Karl Kunhe
AJOVECO S. A. S.

M. C. Johann Barragán Gómez
Estudiante Sebastián Rivera
Estudiante Álvaro González
Universidad Autónoma de Bucaramanga

Esp. Rafael Antonio Reyes Guevara
BITECA Ltda.

M. C. Luis Felipe Wanumen Silva
Universidad Distrital Francisco José
de Caldas

M. C. Rigoberto Sáenz Imbacuán
Universidad Nacional de Colombia

Ing. Andrés Fernando Chávez Ayala
Universidad Distrital Francisco José
de Caldas

Ing. Richard Javier Oliveros Álvarez
Hack & Secure S. A. S.

Ing. Roberto Albeiro Pava Díaz
Universidad Distrital Francisco José
de Caldas

M. C. Nancy Yaneth Gálvez García
Universidad Distrital Francisco José
de Caldas

M. C. Jairo Eduardo Márquez Díaz
Universidad de Cundinamarca

**M. C. Misael Fernando Perilla
Benítez**
Universidad de Cundinamarca

M. C. Arles Prieto Moreno
Universidad de Cundinamarca

M. C. Luis Gabriel Rojas Albarracín
Universidad de Cundinamarca

M. C. Luz Jaddy Castañeda Rodríguez
Universidad de Cundinamarca

M. C. Pedro Luis Cifuentes G.
Estudiante Neil C. Cubillos M.
Estudiante Cristian A. Hernández G.

M. C. Benjamín A. Huérfano Z.
M. C. Édgar Eduardo Roa Guerrero
Universidad de Cundinamarca

M. C. Néstor Gabriel Forero Saboya
Universidad de Cundinamarca

M. C. Carlos Augusto Bermúdez Figueroa
Universidad de Cundinamarca

“Pensad que las cosas maravillosas que podréis aprender en vuestras escuelas son el trabajo de muchas generaciones, logrado con mucho esfuerzo y mucha fatiga en todos los países de la Tierra. Las ponemos en vuestras manos como herencia, para que las respetes, desarrolles y fielmente las entregues a vuestros hijos. Así es cómo nosotros, los mortales, nos hacemos inmortales, transmitiendo el trabajo hecho por todos”.

Albert Einstein

Contenido

Aprendizaje móvil híbrido invertido como herramienta para la enseñanza de las matemáticas	16
Aprendizaje colaborativo de programación asistido por computador	43
Tecnología educativa en la educación superior	64
Detección de plagio en código fuente Java mediante tokenización y aprendizaje de máquina	79
Aproximación experimental al concepto de derivada	101
Impacto del nivel de formación y desarrollo profesional docente sobre la calidad del sistema educativo en Colombia.	111
Desarrollo de videojuegos en espacios inteligentes para prácticas deportivas.....	127
Clase invertida: integración TIC en el aula.....	144
Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA) aplicados a la enseñanza de robótica educativa.....	159
Visión general sobre el estado de la educación superior en Colombia.....	181
Diseño de un aerogenerador de eje vertical para zonas no interconectadas de Colombia	220
Características y propiedades del sistema de numeración ternario	258
Consideración de diseño de un componente <i>software</i> para integración de funcionalidades proporcionadas por portales de difusión de video con plataformas de gestión de contenidos de aprendizaje	286
Diseño e implementación de un sistema para el análisis de huella plantar mediante Matlab	303
<i>M-Health</i> : nuevo campo de acción para los ingenieros de sistemas.....	319

PRÓLOGO

El reto de hoy día es entender y dar forma a la revolución tecnológica que requiere una transformación de la humanidad. Se está cambiando la forma de vivir, de trabajar, de educar y de relacionarnos con los demás, más aún cuando existen muchas posibilidades de tener conectados a miles de millones de personas mediante diferentes clases de dispositivos, permitiendo mayor capacidad de procesamiento, almacenamiento, análisis de datos, información y conocimiento.

Los avances tecnológicos y las tecnologías emergentes influyen en distintos campos, como la inteligencia artificial, la robótica, el Internet de las cosas, la educación, la cultura digital, las energías renovables, la nanotecnología y la computación cuántica, entre otros, los cuales hacen necesaria la actualización de lo que se enseña y de las formas de transmitir y de formar en diferentes áreas del conocimiento. También, las didácticas para formar en ingeniería tienen continuas variaciones debido a las nuevas necesidades y los requerimientos de la sociedad que con el acelerado cambio tecnológico, la competitividad y la innovación hacen parte de los retos que deben afrontar las facultades y que deben abordarse para su planeación y el desarrollo de su quehacer.

Se busca una educación basada en contextos reales de ingeniería, en la cual el contacto con la ciencia, la tecnología, la innovación y la realidad de una localidad, región o país se constituyen en fundamentales. Un objetivo es comprender la importancia y el impacto estratégico de la investigación y del desarrollo tecnológico en la sociedad.

Por lo anterior, el aprendizaje y la formación experiencial tienen lugar tanto en el aula de clase como en otras dimensiones o en otros espacios de trabajo como la persona, la cultura, la institución, la familia, la naturaleza y la sociedad, de acuerdo con el Modelo Educativo Digital Transmoderno (MEDIT) de la Universidad de Cundinamarca, cuyo enfoque está dado en incorporar cada vez más las tecnologías emergentes y las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) en los procesos académicos e investigativos que permitan fortalecer la enseñanza y el aprendizaje, tendientes a desarrollar las capacidades y habilidades necesarias que requieren los nuevos profesionales, en un mundo que exige cada vez más un capital cultural y humano que responda a las necesidades propias de una nación y el mundo contemporáneo.

La Universidad de Cundinamarca dentro de sus directrices pretende contribuir al fortalecimiento de la formación en ingeniería en la región y seguir promoviendo la internacionalización del currículo, buscando un mayor avance en la ciencia, la tecnología y la innovación, con un alto impacto social. En este sentido, se presentan los resultados y avances de proyectos de investigación tendientes a resolver necesidades en contexto y al desarrollo de un modelo de gestión de conocimiento mediado por las TIC en ingeniería y basado en campos de aprendizaje, con el fin de lograr la formación de la persona para la vida, los valores democráticos, la civilidad y la libertad.

A partir de las temáticas tratadas en el presente libro, el lector encontrará información acerca de las tendencias en educación y cultura digital, en nuevos planteamientos y avances en energías renovables, y en el desarrollo e impacto de las tecnologías emergentes en diferentes campos del saber, tales como las telecomunicaciones, la robótica y la industrialización, entre otros.

En la primera parte del libro se encuentran investigaciones sobre la educación y la cultura digital, enmarcadas en el ámbito de las tecnologías y pedagogías emergentes, que establecen un marco reflexivo de las tendencias y los recursos con que cuenta la educación superior para mejorar el proceso de formación y aprendizaje en las aulas o fuera de ellas. Luego, se presenta una

investigación sobre energías limpias por implementar en Colombia en regiones de bajo flujo de viento y una propuesta acerca del uso de un sistema numérico alterno al binario, como alternativa para mejorar la capacidad de cómputo y procesamiento de los computadores del futuro.

Por último, pero no menos importante, se encuentra una investigación acerca del uso de la visión artificial aplicado al entorno de la salud preventiva, mediante la integración de *software* y *hardware* para la captura y posterior análisis de imágenes con fines clínicos. Para resaltar, el ideal del presente libro es compartir las experiencias de diversos investigadores que trabajan con las tecnologías emergentes, con las cuales el lector podrá inferir el grado de impacto que tendrán a corto, mediano y largo plazo estas investigaciones en distintas áreas del saber.

Wilson Joven Sarria

Decano de Ingeniería
Universidad de Cundinamarca

INTRODUCCIÓN

La investigación es uno de los recursos más importantes con que cuenta una nación, ya que a través de esta se persigue dar solución a los innumerables problemas presentes en nuestro entorno, ya sea de índole social, técnico, tecnológico, salud, transporte, energía y educación, entre otros, posibilitando de esta manera ampliar los conocimientos y, con ello, aportar a mejorar la calidad de vida de las personas y contribuir de paso a preservar el medioambiente.

En el presente documento se recopilan, como capítulo de libro, los principales trabajos de investigadores de la Universidad de Cundinamarca y de otras prestigiosas instituciones de educación superior nacionales e internacionales, que contribuyeron de manera significativa a compartir sus experiencias y habilidades adquiridas en sus quehaceres académicos e investigativos, en el VII Congreso Internacional de Ingeniería “Tecnologías emergentes para la generación del siglo 21”, cuyas líneas temáticas tratadas fueron:

Educación y cultura digital. Esta línea describe la importancia y el impacto que tienen las TIC y las tecnologías emergentes en el campo de la educación en sus diferentes niveles y modalidades. Algunas temáticas por tratar en esta línea son: clase invertida (*flipped classroom*), gamificación, aprendizaje electrónico (*e-learning*), aprendizaje híbrido (*blended learning*), aprendizaje móvil (*m-learning*), aprendizaje adaptativo, aprendizaje colaborativo, *intelligent collaborative learning*, *adaptive information filtering*, *adaptive hypermedia*, etc.

Energías renovables y eficiencia energética. Pretende mostrar los desarrollos investigativos de propuestas tendientes a mitigar los efectos negativos del consumo energético de combustibles fósiles, mediante la implementación de tecnologías basadas en las energías renovables. Para ello se proponen proyectos que aborden temáticas como: energía híbrida, solar fotovoltaica, solar térmica, eólica, hidrógeno y pilas de combustible, e impacto medioambiental, entre otras.

Internet de las cosas. Describe la importancia de la interconexión digital alámbrica e inalámbrica vía Internet de los diversos dispositivos que se emplean en el hogar, oficina, industria, salud y transporte, entre otros, que han venido creciendo de manera exponencial en el mercado digital y TIC, generando un cambio sin precedentes en la forma de monitoreo, registro e intercambio de información entre dispositivos (comunicación D2D, *Device to Device*) en diferentes entornos. Para ello se proponen proyectos que aborden temáticas como: tecnologías de Internet e inalámbrica, computación móvil, computación ubicua, identificación por radiofrecuencia en red (RFID), tecnologías de sensores y actuadores, planeamiento urbanístico, ciudades inteligentes, etc.

Inteligencia artificial y robótica. Son dos disciplinas científicas que están cambiando el mundo de forma vertiginosa. En este sentido, esta línea abarca los diversos desarrollos en temáticas como el aprendizaje profundo (*deep learning*), máquinas de aprendizaje (*machine learning*), *big data*, control automático, planificación dinámica multiagente, sistemas de control inteligente, robótica educativa, robótica polimórfica y robótica industrial, redes neuronales, algoritmos genéticos y visión artificial, entre otros.

Los capítulos que se presentan en el presente libro son el resultado del esfuerzo intelectual y personal de maestros investigadores que representan a grupos de investigación e instituciones de educación superior del país y de otras latitudes, los cuales han pretendido mostrar ante la comunidad udecina su saber, exaltando su labor y contribución al conocimiento científico desde su experticia.

Los temas abordados en el Congreso de Ingeniería no fueron tomados a la ligera, ya que su objetivo fue mostrar las nuevas tendencias en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) enmarcadas en lo que se ha llegado a denominar como *tecnologías emergentes*, un campo que se expande cada vez más en el mundo académico, investigativo, industrial y de servicios, que está impulsando el avance de las sociedades en cuanto al cambio de mentalidad acerca de la conservación del medioambiente, planteando nuevas opciones de energía limpias, con bajo impacto en los ecosistemas, impulsando de paso el desarrollo de propuestas que mejoren la calidad de vida de las personas y todo ser viviente, al igual que la educación en sus diferentes niveles y modalidades mediada por las TIC.

Con los aportes dados por los investigadores en el congreso, y consolidados en el presente libro, están demostrando ante la comunidad académica udecina el nivel de compromiso social que tienen en mejorar y cambiar el mundo, lo cual se considera como un aliciente para la sociedad en general, en la que existen personas consagradas en una tarea tan magna, loable y titánica en muchos sentidos, como lo es la investigación.

Solo resta dar las gracias a los ponentes nacionales e internacionales, por su tiempo y aporte a la ciencia y a la academia, en un espacio ideal creado para ello, al igual que a todos los participantes de póster y capítulos del libro, por su tiempo y dedicación para preparar y socializar su trabajo. De igual manera, y no menos importante, agradecer a los docentes, estudiantes, administrativos y al rector de la Universidad de Cundinamarca, representada por sus diferentes extensiones (en particular Chía, Facativá, y Soacha), seccionales (en especial Ubaté) y la sede de Fusagasugá, en hacer real este extraordinario y magno evento.

Jairo E. Márquez D.

Docente investigador

Facultad de Ingeniería de Sistemas

Universidad de Cundinamarca

Aprendizaje móvil híbrido invertido como herramienta para la enseñanza de las matemáticas

Inverted hybrid mobile learning as a tool for teaching mathematics

Aprendizagem móvel híbrida invertida como ferramenta para o ensino de matemáticas

Jairo Eduardo Márquez Díaz

Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ingeniería de Sistemas,
Chía (Colombia). jemarquez@ucundinamarca.edu.co.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6118-3865>

Resumen

Con la introducción de las tecnologías emergentes en el entorno educativo, el proceso enseñanza-aprendizaje ha venido transformándose en pro de facilitar el acceso al conocimiento al estudiante dentro y fuera del aula de clase, propendiendo de esta manera hacia una educación flexible, dinámica y personalizada. Es así, que en el presente artículo se expone la experiencia del uso de la clase invertida combinada con el aprendizaje móvil y el aprendizaje híbrido, que convergen a lo que se ha llegado a denominar como aprendizaje móvil híbrido invertido, que actúa como una herramienta pedagógica y metodológica ideal para la enseñanza de las matemáticas, en particular Cálculo I, que se caracteriza por la alta tasa de pérdida y deserción estudiantil. En este sentido, se detallan los hallazgos con base en los resultados de una investigación cuantitativa con diseño experimental y alcance descriptivo, realizada en el contexto de la educación superior en la Universidad de Cundinamarca en el primer semestre de Ingeniería de Sistemas, extensión Chía, cuyo objetivo central se ubicó en conocer cómo el material multimedia alternado con las aplicaciones móviles, motivado por el aprendizaje colaborativo y el entorno virtual de aprendizaje, tienen un impacto positivo en el rendimiento académico y una actitud diferente por parte del alumno frente a las matemáticas.

Palabras clave: *aprendizaje híbrido, aprendizaje móvil, clase invertida, TIC, tecnologías emergentes.*

Abstract

With the introduction of emerging technologies in the educational environment, the teaching-learning process has been transformed in order to facilitate access to knowledge to the student inside and outside the classroom, thus promoting a flexible, dynamic and personalized education. Thus, this article presents the experience of using the inverted class combined with mobile learning and hybrid learning, which converge to what has come to be known as inverted hybrid mobile learning, which acts as a pedagogical tool and ideal methodology for the teaching of mathematics, in particular Calculus I, which is characterized by the high rate of student loss and dropout. In this sense, the findings are detailed based on the results of a quantitative research with experimental design and descriptive scope, conducted in the context of higher education at the University of Cundinamarca in the first semester of Chía Extension Systems Engineering, whose objective central was to know how the multimedia material alternated with mobile applications, motivated by collaborative learning and the virtual learning environment, have a positive impact on academic performance and a different attitude by the student against mathematics.

Keywords: *blended learning, emerging technologies, flipped classroom, ICT, mobile learning.*

Resumo

Com a introdução de tecnologias emergentes no ambiente educacional, o processo de ensino-aprendizagem foi transformado de forma a facilitar o acesso ao conhecimento dentro e fora da sala de aula, promovendo uma educação flexível, dinâmica e personalizada. Assim, neste artigo a experiência de usar a classe invertida (flipped sala de aula), combinada com a aprendizagem móvel (*m-learning*) e híbridos aprendizagem (*b-learning*), convergindo para o que veio exposta ser chamado de aprendizagem móvel híbrida invertida (*flipped hybrid mobile learning*), que atua como uma ferramenta pedagógica e metodológica ideal para o ensino da matemática, em particular o Cálculo I, caracterizado pela alta taxa de perda e deserção de alunos, que em muitos casos resulta em abandono estudo permanente. A este respeito, as conclusões baseadas estão detalhadas nos resultados de uma pesquisa quantitativa com delineamento experimental e alcance descritivo, realizado no contexto do ensino superior na Universidade de Cundinamarca, no primeiro semestre de Engenharia de Sistemas, cujo principal objectivo é ele ficou na forma como o material multimedia alternado com aplicações móveis, impulsionado pela aprendizagem colaborativa e ambiente virtual de aprendizagem, têm um impacto positivo no desempenho acadêmico e uma atitude diferente por estudantes contra a matemática.

Palavras-chave: *aprendizagem híbrida, aprendizagem móvel, classe invertida, TIC, tecnologias emergentes.*

1. Introducción

La incorporación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) a la educación superior es un imperativo de las sociedades modernas, base de la sociedad del conocimiento y sustento de la globalización (Casillas, Ramírez y Ortiz, 2014). Así, con la educación mediada por las TIC ha venido evolucionando permanentemente desde que la web 1.0 y la web 2.0 surgieron casi de manera paralela. Con esto en mente, parafraseando a Strickland (2018) la web 2.0 es una colección de enfoques que son los más efectivos en la world wide web, por lo que la web 1.0 incluye todo lo demás. En la actualidad, la web 3.0 o web semántica ha abierto nuevos linderos a la formación académica tanto en la modalidad presencial como en la virtual, en las cuales la tecnología móvil e Internet son piezas fundamentales para el desarrollo de nuevas herramientas digitales sustentadas en las TIC, las cuales han dado pie a lo que se ha denominado como tecnologías emergentes, que aportan lo suyo a la sociedad conforme estas evolucionan y se implementan al medio, abriendo nuevos nichos de desarrollo e innovación en materia de pedagogía y metodologías basadas en modelos digitales y tecnológicos.

Las tecnologías emergentes se definen según el contexto, puesto que se asocia según la región y el campo de aplicación, es decir, en lo tecnológico se entiende como aquellas tecnologías nuevas que se están incorporando al mercado de los servicios. Por ejemplo, Day, Schoemaker y Gunter (2001) las definen como innovaciones científicas que pueden crear una nueva industria o transformar una existente, e incluyen tecnologías discontinuas derivadas de innovaciones radicales, así como tecnologías más evolucionadas formadas a raíz de la convergencia de ramas de investigación antes separadas. Para Tapia (2011) el desarrollo de las tecnologías emergentes en las empresas requiere de un reconocimiento de otro tipo de innovación que es importante en las empresas: se trata de la innovación de gestión del negocio por parte de los directivos.

En cuanto a la educación, para Veletsianos (2010, pp. 3-4), las tecnologías emergentes son:

Herramientas, conceptos, innovaciones y avances utilizados en diversos contextos educativos al servicio de diversos propósitos relacionados con la educación. Además, propone que las tecnologías emergentes ('nuevas' y 'viejas') son organismos en evolución que experimentan ciclos de sobreexpectación y, al tiempo que son potencialmente disruptivas, todavía no han sido completamente comprendidas ni tampoco suficientemente investigadas.

Las tecnologías emergentes enfocadas al entorno educativo, exploran los nuevos desarrollos tecnológicos manifiestos a través de la implementación de herramientas digitales para la enseñanza *online* y *offline*, con miras a explorar su potencialidad dentro y fuera del aula de clase. Visto de esta manera, las metodologías de enseñanza cuya base de trabajo es la virtualidad y la tecnología móvil tienen mucho de qué hablar, puesto que son la base para las nuevas estrategias de transmisión del conocimiento tales como: *e-learning*, *b-learning*, *m-learning*, *s-learning*, *p-learning*, *t-learning*, realidad aumentada (georrealidad, inforrealidad y jugabilidad), mundos virtuales e interfaces gestuales, entre muchas otras, las cuales han demostrado su valía en la educación en sus diferentes niveles y modalidades, que están marcando un nuevo hito en lo que debe ser la educación del siglo XXI.

Frente al panorama que exponen las TIC sobre los nuevos retos que debe afrontar la educación superior, se presenta un amplio abanico de oportunidades que brinda las tecnologías emergentes que están en ejecución o en vías de desarrollo, en la que se está cambiando paulatinamente el paradigma de la educación tradicional por uno mediado por la tecnología y las diversas herramientas digitales que la acompañan. Sobre este aspecto, los desafíos que conlleva trasladar la educación del aula física a un aula virtual no son pocos, ya que lo que se busca con este tipo de tecnologías es mejorar la alfabetización digital, al igual que optimizar la integración del aprendizaje formal e informal y replantear el rol que el docente y la institución desempeñan en este modelo frente a la sociedad y nivel de formación al educando.

Un aspecto para tener en cuenta con el auge de las tecnologías emergentes en la educación, es que aparecen propuestas alternativas que buscan cambiar los modelos pedagógicos tradicio-

nales; es así que surge el concepto de pedagogías emergentes, frente al cual Adell y Castañeda (2012) señalan que,

Este concepto es relativo desde un punto de vista cronológico y geográfico, y que bajo este término se sitúa un conjunto de enfoques e ideas pedagógicas que surgen como consecuencia de cambios sustanciales en los escenarios sociales (culturales, económicos, políticos, tecnológicos) que afectan a los contextos educativos.

Las pedagogías emergentes en la actualidad están atadas de manera incondicional a las TIC y por extensión a las tecnologías emergentes. Por lo tanto, la forma de enseñar y aprender está sujeta a nuevas transformaciones y cambios que presenta el medio tecnológico. Al observar este escenario desde el punto de vista de las asignaturas de las ciencias y disciplinas científicas en general, estas han venido ajustando sus programas mediante una renovación curricular, conforme las TIC incursionan en las aulas de clase, que inicialmente se tomó como un recurso adicional de apoyo a la enseñanza y ahora se ha convertido en una herramienta fundamental y funcional para facilitar la trasmisión del conocimiento dentro y fuera del aula.

Con las nuevas tecnologías han surgido metodologías y pedagogías que complementan y, en algunos casos, suplen al modelo tradicional de educación, propendiendo a que el educador desempeñe un rol de tutor y guía dando mayor relevancia al estudiante como un actor dinámico y participativo en el proceso enseñanza-aprendizaje. Es así, que se observan tendencias emergentes en la pedagogía relacionadas con los diferentes tipos de aprendizaje, tal como lo exponen Fuerte y Guijosa (2018): aprendizaje de tipo adaptativo, activo, auténtico, móvil, ubicuo, colaborativo, en línea, flexible, híbrido, invertido, justo a tiempo, vivencial, entre pares, con tecnologías vestibles (*wereables*), en redes sociales y entornos colaborativos, mentoría. También se encuentra el aprendizaje basado en: investigación, problemas, proyectos, retos, experiencias y competencias, entre otros.

Como complemento a lo mencionado anteriormente, existen otras herramientas digitales que han venido afianzándose en la

educación presencial, virtual e híbrida, como son: cursos abiertos masivos en línea o MOOC (existen diversas variantes en la actualidad como los cMOOC y los xMOOC, entre otros), laboratorios remotos y virtuales, *e-books*, telepresencia, impresión 3D, asistentes virtuales, los entornos personalizados de aprendizaje (learning management system - LMS, *feeds*, blogs), *badges* y microcréditos, *mastery learning*, realidad aumentada y códigos QR, realidad virtual, realidad mixta, mundos virtuales (metaversos), recursos educativos abiertos (REA), cómputo afectivo, *big data*, analítica de aprendizaje, gamificación, *storytelling*, *serious games*, Internet de las cosas (IdC), *blockchain* y *empowered edge*, entre otros.

Con esta amplia gama de herramientas digitales de que disponen el docente, el estudiante y la institución de educación, se abre un sinnúmero de oportunidades para adaptar o modificar el proceso de enseñanza-aprendizaje tradicional a uno más dinámico, flexible y participativo, en el cual la tecnología móvil e Internet desempeñan un papel fundamental haciendo que el estudiante adopte un rol más activo en su formación fomentando el autoaprendizaje y el aprendizaje colaborativo.

En cuanto al maestro, este deja de ser el centro del quehacer académico y adopta un papel de guía del estudiante encaminándolo a su autoformación, y a la vez se proyecta como un gestor de contenidos digitales creando material de estudio que ayude al estudiante a la aprehensión de nuevo conocimiento; a este tipo de actuar se le conoce como prosumidor. Ahora, cabe aclarar que las TIC y tecnologías emergentes en el entorno educativo actúan como herramientas de ayuda al proceso de enseñanza-aprendizaje, mas no remplazan al profesor.

2. Clase invertida

La clase invertida o *flipped classroom* se entiende como aquel modelo de enseñanza-aprendizaje no lineal en el cual se alienta al estudiante a solucionar problemas o ejercicios —previa retroalimentación— fuera del aula de clase. Con la metodología de clase

invertida o aula invertida, combina las tareas del aula y las actividades realizadas con el uso de tecnologías digitales de información y comunicación (TIC) (Mejía et al., 2017). Con esto en mente, la idea es que el estudiante cuando retorne al salón realice preguntas frente a las inquietudes generadas a la hora de encontrar la solución de los ejercicios dados por el profesor. Es por ello, que la idea central de la clase invertida es dar un giro al modelo tradicional educativo a uno más dinámico y participativo, dotando al estudiante de diversas herramientas TIC para su aprendizaje. Lo destacable de este modelo es que los discentes colaboran en el aprendizaje de sus compañeros, dado que el docente no es el único que proporciona el conocimiento (Merla y Yáñez, 2016).

Para un desarrollo ideal de la clase invertida, esta va acompañada de recursos informáticos que van desde el aula virtual y sus diferentes herramientas, pasando por los programas informáticos para edición de textos, audio, video y presentaciones, hasta recursos electrónicos como los *e-books*, *electronic journals*, *newsfeeds*, simulaciones, *digital stories*, *screencasting*, *podcasting*, *smartfilms* y contenido impreso, entre otros. También se pueden emplear recursos disponibles en Internet como las MOOC o desarrollar las propias por parte del docente, las cuales presentan gran acogida en el ambiente académico, por lo que para este caso se habla de aprendizaje invertido (*flipped learning*) que se combina con la clase invertida (*flipped classroom*) de manera muy estrecha. Como referente particular del proyecto de investigación, es una de las herramientas principales para la enseñanza de ciertos temas de la asignatura de Cálculo I, que se combina con otras tecnologías para mejorar la aprehensión del conocimiento por parte de los estudiantes.

En el mercado de las TIC hay diversidad de opciones de herramientas digitales tanto para el maestro como para el estudiante, que les permiten abordar diversidad de temáticas asociadas con la metodología del *flipped classroom*. AulaPlaneta (2018) las segmenta en: generar cuestionarios interactivos, presentaciones, murales virtuales, videolecciones o videos interactivos, desarrollo de actividades individuales y colaborativas, publicación

o divulgación de trabajos, evaluar alumnos a través de rúbricas y fomentar el aprendizaje colaborativo.

Así mismo con el aprendizaje invertido se desarrolla un ambiente interactivo, en el cual el profesor guía a los estudiantes mientras aplican los conceptos y se involucran en su aprendizaje de manera activa dentro del salón de clases (EduTreds, 2014). Dicho esto, hay una diferencia con respecto a la clase invertida, que por supuesto puede combinarse en el quehacer académico por parte del docente. En este supuesto, se presenta cierto grado de incertidumbre en el estudiante, puesto que se rompe el paradigma del proceso enseñanza-aprendizaje tradicional a uno más dinámico, en el cual la responsabilidad del aprendizaje se transfiere en gran parte hacia el alumno. En este tipo de ambiente, la renuencia y las negativas están divididas entre maestro y estudiante, por lo que la concertación en cuanto al esquema de trabajo debe ser consensuado.

3. Aprendizaje móvil

El aprendizaje móvil o *mobile learning* es una metodología de enseñanza-aprendizaje que emplea como plataforma base los dispositivos móviles, tales como: *smartphones*, *smartwatches*, tabletas, agendas digitales, videoconsolas y *phablets*, entre otros dispositivos conectados a una red inalámbrica. Lo que caracteriza al *m-learning* es que se refiere a los ambientes de aprendizaje orientados a optimizarlo mediante el uso de la tecnología móvil, por lo que está muy relacionado con el aprendizaje ubicuo (*ubiquitous-learning*), que Santiago et al., (s. f.) lo referencian con el aprendizaje apoyado en la tecnología y que se realiza en cualquier momento y lugar. El aprendizaje móvil actúa como apoyo al proceso de aprendizaje del estudiante y como herramienta para la enseñanza del maestro, posibilitando en el educando que los recursos destinados para su aprendizaje sean consultados las veces que se desee dentro o fuera del salón de clase, indistinto del lugar donde se encuentre el alumno, en cualquier tiempo disponible.

El aprendizaje móvil permite además al estudiante y docente acceder a la información cuando lo requieran, desde cualquier lugar del mundo. Esto implica que el control del aprendizaje subyace directamente en el estudiante, quien es el que marca su ritmo en este sentido, por lo que se rompe el esquema tradicional de aprendizaje uniforme. En este escenario, el docente dispone de diversos tipos de material multimedia, al igual que documentación, aplicaciones móviles y web, que le permiten gestionar o administrar información, realizar evaluaciones de carácter participativo individual o grupal mediante chats, redes sociales, wikis y blogs, entre otros recursos web. Estas últimas herramientas se han trabajado usualmente en los Sistemas de Gestión del Aprendizaje (LMS), por lo que la simbiosis entre esta herramienta con el aprendizaje móvil las hace ideales para el proceso enseñanza-aprendizaje en un nuevo espacio de aprendizaje flexible y adaptable, todo gracias al diseño *web responsive* o adaptativo.

La disponibilidad y el uso del aprendizaje móvil en conjunto con el LMS, aporta una ventaja al proceso de enseñanza de las matemáticas como caso particular, ya que el estudiante dispone de los recursos pedagógicos necesarios para que sean consultados bien a través de un computador o de un dispositivo móvil cuando lo requiera. La potencialidad del uso de estos recursos se pone a prueba en el proyecto de investigación, en la que se implementan en el LMS la documentación alusiva al curso de Cálculo I, presentaciones y MOOC, entre otros recursos, a los cuales el estudiante puede acceder a través de su dispositivo móvil, al igual que se destinan aplicaciones móviles o *app* educativas, para que sean consultadas y trabajadas directamente en estos. Un aspecto adicional para mencionar en cuanto a los MOOC y su impacto en la enseñanza de las matemáticas es, como afirma Quijada (2014), que los paradigmas de enseñanza siguen cambiando para incluir modelos en línea, mixtos y colaborativos; en particular, los cursos abiertos masivos en línea que utilizan ampliamente de manera que representan una alternativa o un complemento a los cursos universitarios. A estas herramientas se suma la programación de evaluaciones y cuestionarios cuando el docente lo disponga, según el modelo de la clase invertida planificado.

El potencial de usar este modelo de aprendizaje para el proyecto de investigación se perfiló en el sentido de que el estudiante en su gran mayoría dispone de dispositivos móviles de gama media-alta, a lo que se adiciona la conectividad con que cuenta la universidad y los planes de datos que posee la mayoría de ellos, que se presta para una navegabilidad dentro del aula o fuera de ella.

4. Aprendizaje híbrido

La palabra *blended* quiere decir mezclar, entrelazar, y el término *blended learning* denota estrategias que combinan o mezclan metodologías o formatos para lograr mejores resultados de aprendizaje (Mortera, 2009). El aprendizaje híbrido (*blended learning*) se sustenta sobre una infraestructura virtual, en la cual los contenidos, la evaluación, el seguimiento y la interacción son gestionados o administrados por el profesor para y por el estudiante (Márquez, 2018). Con este tipo de aprendizaje Mejía et al. (2017, p. 353) señalan la experiencia de aprendizaje integrada —en línea y cara a cara— proporcionando a los estudiantes una mayor flexibilidad, apoyo y nuevos canales de comunicación entre profesores y estudiantes, que contribuyen al desarrollo del aprendizaje activo, investigativo, colaborativo y cooperativo. Como menciona Mortera (2008), algunos autores han sugerido el término *híbrido* cuando es referido a los cursos que mezclan o combinan instrucción presencial con sistemas de educación de entrega a distancia.

En el modelo *b-learning* el profesor ejerce su labor de dos formas: como tutor *online* (tutorías a distancia) y como educador tradicional (cursos presenciales) (Polanía, 2014). Al igual que en la enseñanza presencial, el fortalecimiento de la relación docente-estudiantes es fundamental para crear una comunidad de aprendizaje; además, las decisiones que toman los docentes se ajustan a la filosofía y el enfoque en cuanto a la enseñanza (Sugarmán et al., 2016).

Con el aprendizaje híbrido aparece el sistema de gestión de aprendizaje (LMS), que va muy de la mano con el sistema de gestión de contenidos (CMS), el cual actúa como la base o el soporte

informático para que el LMS funcione como se espera dentro y fuera del aula de clase. Luego con el modelo de aprendizaje híbrido, el estudiante puede consultar información de manera síncrona y asíncrona, bien a través de un computador estándar o portátil, o por medio de su dispositivo móvil.

Un aspecto particular del uso del *b-learning* combinado con el *m-learning*, es que la plataforma que sustenta al LMS es Moodle, cuya flexibilidad en el manejo y la gestión de información es ideal tanto para el profesor como para el estudiante. Es importante mencionar que el uso de recursos TIC que se pueden incorporar a Moodle es muy amplio, posibilitando al profesor crear contenidos *in situ*, importarlos o direccionarlos fuera del sistema según las necesidades propias de la asignatura. Este aspecto fue tomado en cuenta en el proyecto de investigación, propendiendo de esta manera a crear en el profesor la idea que se convierta en un prosumidor de contenidos digitales (Cabrera, 2018; Lastra, 2016; Herrero et al., 2016; Andreu y Martín, 2014), en la que posteriormente se espera que trasmita su conocimiento al estudiante para que este se convierta en prosumidor también, aspecto que forma parte de otra fase de desarrollo del proyecto.

Para finalizar este apartado, el uso del *b-learning* guarda una potencialidad muy grande en cuanto al tipo de información que el docente desea que el estudiante consulte para su formación, que se potencia cuando esta información está disponible en todo momento siendo consultada mediante cualquier dispositivo móvil con acceso a Internet. Lo ideal de la información que está a la mano del estudiante, es que esta debe ser corta, concreta y clara, ya que debe tomarse en consideración que será consultada en dispositivos móviles en los cuales el tamaño y la resolución de la pantalla son limitados, de ahí que los recursos pedagógicos sean diseñados tomando en cuenta estas restricciones.

5. Aprendizaje móvil híbrido invertido

El aprendizaje móvil híbrido invertido o *flipped hybrid mobile learning (FHML)* es una propuesta pedagógica y metodológica

que surge como efecto de la experiencia docente frente a una problemática que aqueja a todas las instituciones de educación acerca del bajo rendimiento, pérdida y deserción académica relacionada con asignaturas de las matemáticas como caso particular, indistinto del nivel y la modalidad de enseñanza. El *FHML* se fundamenta en tres estructuras relacionadas con la educación emergente: la clase invertida, la enseñanza móvil y la enseñanza híbrida. El conjugar estos tres elementos en un mismo escenario, abre la posibilidad de explorar nuevas opciones de enseñanza no tradicional basada en la tecnología y una pedagogía en las cuales el estudiante actúa como partícipe activo de su educación, bien de forma autónoma como de manera colaborativa, en la que el maestro es pieza fundamental para gestionar este proceso.

Un aspecto para tener en cuenta sobre el uso adecuado del aprendizaje móvil e híbrido, es la racionalidad por parte del profesor en cuanto al empleo de aplicaciones móviles y los recursos digitales para la enseñanza y evaluación; esto con el fin de no saturar al alumno con tantas herramientas que pueden devenir en el abandono prematuro de la clase o la no participación activa en ella. Se debe recordar que el nivel de motivación que el estudiante trae consigo frente a las matemáticas es muy bajo, por lo que la idea de abonar a esta negativa con sobrecarga de herramientas de consulta y trabajo no es buena idea. Por consiguiente, es imperativo que el docente realice un estudio previo sobre el tipo de herramienta digital que va a trabajar, al igual que los contenidos, las tareas y los talleres que va a desarrollar dentro y fuera del aula.

Para el caso de la clase invertida, Bishop y Verleger (2013) la definen como una técnica educativa formada de dos partes: una que ocurre dentro del aula con actividades de aprendizaje en grupo y una parte fuera del aula con lecciones individuales directas en el computador de escritorio o portátil. Dicho esto, el profesor debe tener medida sobre qué y cuántas herramientas va a emplear en su quehacer docente, puesto que hay infinidad de ellas que se encuentran en la web para realizar múltiples tareas, por lo que se corre el riesgo que el estudiante decline su uso por confusión o saturación de trabajo, ya que no solo va usar el computador sino

su dispositivo móvil, sumado a los recursos digitales con los que se va a interactuar.

En el modelo del aprendizaje móvil híbrido invertido, se desarrolló un curso piloto de Cálculo I en el primer semestre de 2018, con miras a explorar la posibilidad de mejorar el rendimiento académico del estudiante y de paso reducir la deserción, cuyo índice se ha venido incrementando cada semestre en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cundinamarca extensión Chía.

Frente al rendimiento académico, tal como se observa en el cuadro 1, se muestra un registro desde el primer semestre de 2014 hasta el segundo semestre de 2017, sobre el número de estudiantes aprobados y reprobados en las tres asignaturas de matemáticas que se cursan en la Facultad de Ingeniería de Sistemas. Cabe aclarar que los recuadros en amarillo son los resultados preliminares al haber aplicado el aprendizaje móvil híbrido invertido en un curso piloto de Cálculo I. Como se observa, hay una leve reducción en el número de estudiantes que reprobaron la asignatura de Cálculo en comparación con los periodos anteriores.

Tomando como caso particular el número de estudiantes que aprobaron y reprobaron la asignatura de Matemáticas I (Cálculo I), se aprecia que el número que reprueba en los últimos años se ha venido incrementado de forma alarmante. Por ejemplo, al considerar los datos de 2016 y 2017 como referente, tal como se aprecia en la figura 1, se tiene que para el primer semestre de 2016 el porcentaje de estudiantes reprobados fue del 21 % aproximadamente, incrementándose para el segundo semestre en un 38,2 %. Para el primer semestre de 2017, el porcentaje de estudiantes reprobados fue de 37,8 %, y se aumentó para el segundo semestre en un 48,45 %.

Cuadro 1. Relación de estudiantes que aprobaron y reprobaron matemáticas, desde 2014 hasta el segundo semestre de 2017 del programa de Ingeniería de Sistemas, extensión Chía.

Núcleo/ Periodo	Matemáticas I		Matemáticas II		Matemáticas III	
	Aprobados	Reproba- dos	Aprobados	Reproba- dos	Aprobados	Reproba- dos
2014-1	49	19	47	20	57	16
2014-2	38	23	37	20	31	13
2015-1	63	18	37	11	32	8
2015-2	63	21	27	15	28	10
2016-1	64	17	36	35	28	10
2016-2	34	21	68	51	30	11
2017-1	56	34	36	32	42	15
2017-2	47	44	46	39	27	19
2018-1	43	26	41	32	36	21

Fuente: Bienestar Universitario - Universidad de Cundinamarca.

Tomando como caso particular el número de estudiantes que aprobaron y reprobaron la asignatura de Matemáticas I (Cálculo I), se aprecia que el número que reprueba en los últimos años se ha venido incrementado de forma alarmante. Por ejemplo, al considerar los datos de 2016 y 2017 como referente, tal como se aprecia en la figura 1, se tiene que para el primer semestre de 2016 el porcentaje de estudiantes reprobados fue del 21 % aproximadamente, incrementándose para el segundo semestre en un 38,2 %. Para el primer semestre de 2017, el porcentaje de estudiantes reprobados fue de 37,8 %, y se aumentó para el segundo semestre en un 48,45 %.

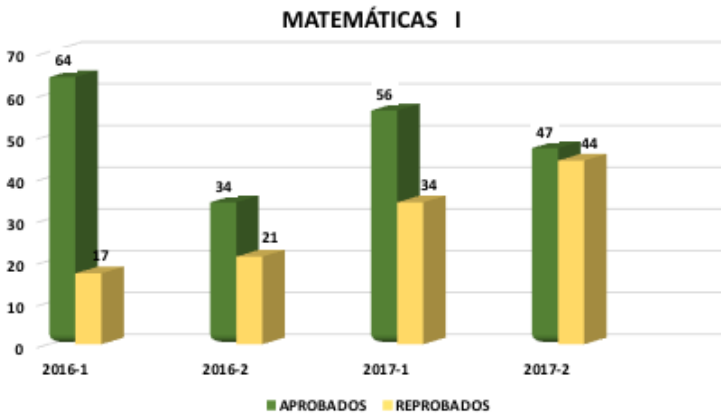


Figura 1. Representación del número de estudiantes que aprobaron y reprobaron la asignatura de Matemáticas I durante el periodo 2016-2017.

Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia, el índice de alumnos reprobados ha aumentado en el periodo contemplado a dos años consecutivos; por tanto, si esta tendencia se mantiene para los próximos años, lo más probable es que estos porcentajes se incrementen debido a que según estudios afines, muchos estudiantes deciden abandonar sus estudios por esta causa, a lo que se suma el bajo nivel académico con que ingresan los educandos agudizando de esta manera la problemática en la Facultad y la Universidad.

6. Resultados

Para medir el impacto del aprendizaje móvil híbrido invertido se utilizó la metodología de investigación de tipo cuantitativo descriptivo. En la investigación participaron 38 estudiantes de la carrera de Ingeniería de Sistemas y se emplearon tres métodos principales de recolección de información: entrevista, observación y encuesta. Cabe aclarar, con respecto a la selección de la muestra del alumnado, que esta fue de tipo no probabilístico debido a criterios del propio investigador en cuanto a que se debía tomar en cuenta que dicha muestra estuviera conformada por

estudiantes de Ingeniería de Sistemas matriculados en el curso piloto de Cálculo I.

En cuanto al análisis de la información, se utilizó el análisis de frecuencia. Para el diseño del instrumento se emplearon cuatro categorías, todas dentro de las TIC, en las cuales no se le enfatizó al estudiante que iba a tener interacción con las tecnologías emergentes: uso de la tecnología móvil, uso de internet, motivación y desarrollo de estrategias de aprendizaje basado en herramientas TIC y uso de recursos digitales para el proceso enseñanza-aprendizaje.

Los resultados del estudio descriptivo al aplicar la encuesta con la escala de Likert se realizaron en dos tiempos: el primero un sondeo acerca de la posición que tiene el estudiante frente a las matemáticas y uso de las TIC en su estudio, y el segundo la experiencia del estudiante una vez culminado el curso piloto. Para verificar el grado de confiabilidad de las encuestas se procedió a calcular el alfa de Cronbach, cuyo resultado fue del orden de 0,738, considerado como aceptable, dando luz verde a la aplicación de los instrumentos.

En el sondeo inicial del curso piloto se observó que de los 38 estudiantes encuestados, el 86,84 % no son repitentes de la asignatura de Cálculo I, mientras un 13,16 % sí, que corresponde a 6 estudiantes, de los cuales 1 ha repetido por segunda vez esta materia. En cuanto a la edad de los estudiantes encuestados, el 42,11 % tiene edades comprendidas entre los 15 y 18 años, el 50 % está entre los 19 y 22 años y el 7,89 % está entre los 26 y 30 años.

Según el estudio preliminar efectuado a inicio de semestre frente a la pregunta: ¿considera que el conocimiento que posee de las matemáticas desde el colegio es deficiente?, el 50 % de estudiantes opina que sí, el 21 % afirma que no y el 29 % restante afirma estar indeciso. La realidad de estos resultados es que el educando ingresa a la universidad con dificultades de aprendizaje de las matemáticas asociadas a una diversidad de factores externos que, como señala la Federación de Enseñanza de CCOO (2012), están relacionados con la dificultad de la propia disciplina y de su

enseñanza, o por la dificultad específica en algunas personas de padecer discalculia.

Frente a la pregunta sobre cuál es el desempeño académico general en matemáticas, las respuestas fueron las siguientes: el 47,37 % de los estudiantes considera que su desempeño es regular, el 13,16 % lo estima bajo, el 7,89 % más bajo, mientras que el 26,32 % piensa que es bueno y el 5,26 %, excelente. En general, el desempeño académico de los estudiantes es deficiente, lo cual se corrobora con las estadísticas obtenidas cada semestre, en las que se observa que el rendimiento no mejora, sino, por el contrario, va en declive.

Sobre la pregunta: ¿cree que el material académico que le suministra el profesor es suficiente para que estudie y realice sus tareas? El 47,37 % de los estudiantes encuestados opina estar de acuerdo y el 5,26 % está totalmente de acuerdo. El 42,11 % de estudiantes ni está de acuerdo ni en desacuerdo, el 2,63 % está en desacuerdo al igual que totalmente en desacuerdo. En este sentido, se observa que la mitad de estudiantes afirman estar de acuerdo, mientras la otra no; este resultado se da por el hecho de que muchos profesores aún emplean material analógico como apoyo a su praxis académica, en contraposición a los estudiantes que desde el colegio ya han trabajado con recursos digitales de diversa índole, por lo que muestran apatía ante este tipo de retroceso tecnológico y pedagógico.

Con respecto a la pregunta de si: ¿Cree que el emplear un dispositivo móvil para estudiar matemáticas le ayuda a aclarar dudas sobre determinados temas dentro y fuera de clase? El 42,11 % de los encuestados afirma estar de acuerdo, el 36,84 % totalmente de acuerdo, mientras que el 13,16 % indica no estar de acuerdo ni en desacuerdo, y el 7,89 % está totalmente en desacuerdo. En este mismo sentido, se exploró sobre los recursos de Internet mediante la siguiente pregunta: ¿Considera que emplear recursos de Internet para complementar su estudio con base en los temas vistos en clase es una buena idea? El 47,37 % de los estudiantes está de acuerdo, el 42,11 % está totalmente de acuerdo, mientras el 7,89 % afirma estar totalmente en desacuerdo y el 2,63 % ni está de acuerdo ni en desacuerdo. En general, el 89,49

% considera que emplear recursos de Internet para complementar su estudio es una buena idea, máxime se utiliza la tecnología móvil.

Sobre el tipo de herramientas TIC por trabajar, se planteó la pregunta: ¿Le gustaría disponer en su estudio de herramientas TIC (páginas web, aplicaciones móviles, plataforma virtual, etc.), que le ayuden a repasar y aprender temas de matemáticas dentro y fuera de clase? Cerca del 87 % afirma que está de acuerdo, mientras el 7,89 % está ni de acuerdo ni en desacuerdo y el 5,26 % está totalmente en desacuerdo. La disposición y motivación exhibidas por los estudiantes en general para trabajar con las TIC es un factor que se debe tomar en cuenta para implementar el modelo de aprendizaje móvil híbrido invertido en clase y fuera de ella.

Con base en la pregunta anterior, se exploró el nivel de habilidades que tiene el estudiante en el manejo de las TIC y si considera que el uso de estas le ayudaría a su aprendizaje de matemáticas. Con respecto a la primera pregunta, el 50 % de estudiantes manifiesta que es bueno, mientras el 21,1 % afirma que es excelente, el 15,8 % que es suficiente, el 10,5 % insuficiente y el 2,6 % nulo. En cuanto a la segunda pregunta, cerca del 95 % de los estudiantes encuestados aseguran estar de acuerdo.

De los resultados generales de las preguntas anteriores, se infiere que el uso de las herramientas TIC es imprescindible en el proceso enseñanza-aprendizaje de las matemáticas, en el cual el interés por parte del estudiante es afirmativo, lo que faculta al maestro a indagar y apropiarse del conocimiento en este sentido, adquiriendo las habilidades necesarias para transmitirlo a sus alumnos y facilitar con ello su formación.

Con base en las preguntas anteriores se plantea si: ¿Cree que al usar las TIC para el estudio de matemáticas puede mejorar su rendimiento académico? Cerca del 74 % de estudiantes afirma estar de acuerdo, mientras el restante ni está de acuerdo ni en desacuerdo. Este porcentaje indica que existe el interés de los estudiantes de apropiarse de las TIC como herramienta de apoyo a su formación en matemáticas, la cual debe ser tomada en cuenta como factor de motivación por parte del profesor. Este es

un aspecto que, como señalan Chaves et al., (2015) en cuanto al uso de las TIC, contribuye a la construcción de conocimiento por facilitar el acceso a información e incrementar la interactividad y conectividad, que permiten la mediación pedagógica en los contenidos de los cursos.

Finalmente se plantean dos preguntas tendientes a explorar el grado de compromiso del estudiante frente al uso de las TIC, así: ¿Consideraría este semestre trabajar en la asignatura de matemáticas empleando recursos TIC? y ¿se compromete a afrontar el reto de trabajar con recursos TIC dentro y fuera del salón de clase? Con respecto a la respuesta de la primera pregunta, el grado de aceptación fue del 82 % y el restante manifiesta estar ni de acuerdo ni en desacuerdo. En cuanto a la segunda pregunta, cerca del 87 % de estudiantes están dispuestos en afrontar el reto, mientras el restante muestra indecisión.

Para la segunda fase, una vez culminado el curso piloto, los resultados sobre el rendimiento y la encuesta fueron los siguientes:

En el primer semestre de 2018, el porcentaje de reprobados en el curso piloto de Cálculo I implementando el aprendizaje móvil híbrido invertido fue del orden de 35 % frente al semestre inmediatamente anterior, que fue del 47,8 %, lo cual demuestra una reducción del 12,8 %. Este porcentaje es significativo, si se considera que la tendencia en cuanto al número de estudiantes que repiten Cálculo I se mantenía de manera creciente para semestres anteriores. Lo importante del resultado obtenido es que se plantea la viabilidad del modelo de aprendizaje móvil híbrido invertido en el proceso enseñanza-aprendizaje de las matemáticas, que como toda propuesta requiere de ajustes que contribuyan a mejorar el rendimiento académico y obtener mejores resultados.

En cuanto a los resultados de la encuesta de satisfacción se tiene lo siguiente:

Cuando se preguntó si fue agradable la forma de aprender matemáticas mediante el uso de las herramientas TIC dentro y fuera de clase, el 73,3 % afirmó estar de acuerdo y el porcentaje restante manifestó estar ni de acuerdo ni en desacuerdo. En términos generales, el haber combinado la enseñanza tradicional de

las matemáticas con las TIC tuvo un cambio significativo en los estudiantes, lo que da pie en ahondar sobre otros recursos digitales que permitan fortalecer el aprendizaje en los educandos.

Sobre la pregunta: ¿Fueron de ayuda las herramientas TIC y la plataforma virtual para su estudio de las matemáticas? La respuesta se resume en la figura 2, que muestra que el 73 % de estudiantes aproximadamente afirma estar de acuerdo.

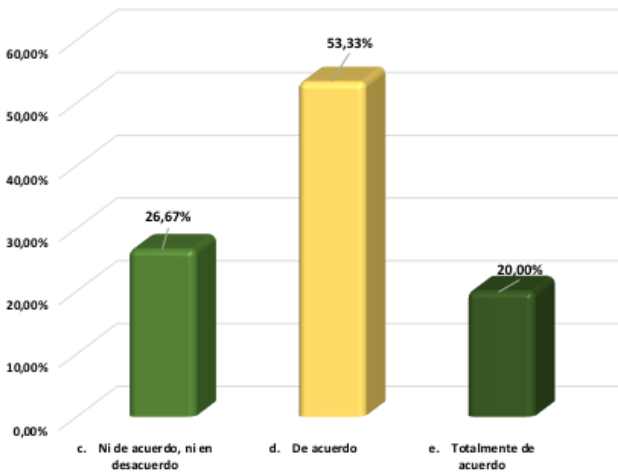


Figura 2. Representación de resultados de la pregunta: ¿Fueron de ayuda las herramientas TIC y la plataforma virtual para su estudio de las matemáticas?, realizada en el primer semestre de 2018 a estudiantes de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cundinamarca extensión Chía.

Fuente: elaboración propia.

Para confirmar si fue fácil usar las herramientas TIC dentro y fuera de clase, cerca del 73,37 % afirma estar de acuerdo, mientras el restante señala estar ni de acuerdo ni en desacuerdo. En cuanto al rendimiento académico, se preguntó si se creía que el rendimiento académico fue influenciado por el uso de las herramientas TIC dispuestas para la clase: el 53,3 % de estudiantes afirma estar de acuerdo, mientras que el porcentaje restante señala estar ni de acuerdo ni en desacuerdo.

Sobre el uso del dispositivo móvil, este marcó una diferencia para el estudio fuera del aula de clase, ya que el 80 % afirmó estar de acuerdo y el restante señaló estar ni de acuerdo ni en desacuerdo. En este sentido, en términos generales este resultado valida el uso del modelo del aprendizaje móvil, que permite al estudiante formarse dentro y fuera del aula a través de la tecnología móvil en el marco de la ubicuidad. Sobre esto último, el concepto de movilidad en la educación, como señalan Torres, Infante y Torres (2015), tiene el poder de darle ubicuidad a los procesos y combinar el aprendizaje formal e informal, lo cual rompe estructuras y conceptos y abre camino a una serie de innovaciones cuyos efectos es necesario experimentar.

Los dispositivos móviles facilitan la integración de varias tecnologías, la cual posibilita en la educación múltiples desarrollos y aplicaciones, ampliando el espectro en cuanto a recursos y medios de que disponen el profesor y estudiante, enriqueciendo con ello el proceso de enseñanza-aprendizaje dentro y fuera del aula.

Al preguntar: ¿Al estudiar de manera autónoma empleando las TIC pudo reforzar temas de matemáticas que quizá no comprendía bien? El 60 % de estudiantes afirma estar de acuerdo, mientras el 40 % señala estar ni de acuerdo ni en desacuerdo. Siguiendo esta misma línea, se cuestionó si se consideraba que el uso de las TIC en la clase de matemáticas fue importante: el 13,33 % afirmó ser muy importante, el 33,33 % importante y el 53,33 % moderadamente importante.

Con el objetivo de sondear qué tan dispuesto estaría en utilizar de nuevo las herramientas TIC para el estudio, los resultados se observan en la figura 3, en la que se percibe la disposición para emplear los recursos digitales implementados en el curso piloto en su estudio en general.

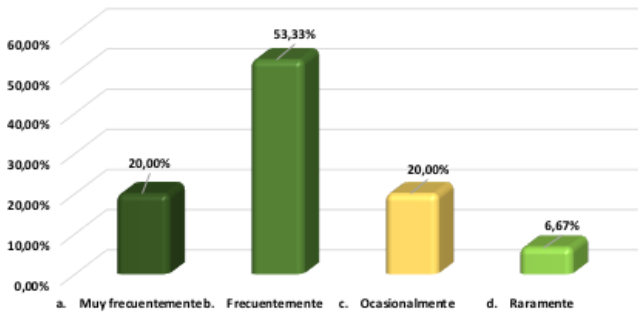


Figura 3. Representación de resultados de la pregunta: ¿Con qué frecuencia estaría dispuesto a utilizar de nuevo las herramientas TIC para su estudio? realizada en el primer semestre de 2018 a estudiantes de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cundinamarca extensión Chía.

Fuente: elaboración propia.

La penúltima pregunta se enfoca en explorar si el estudiante considera importante utilizar los recursos TIC trabajados en clase en el curso piloto en las demás asignaturas de matemáticas; la respuesta fue unánime. Para finalizar, la última pregunta se centró en explorar si el estudiante recomendaría a otros compañeros los recursos TIC trabajados en clase. El 60 % afirma que es probable y el restante 40 % que es muy probable que recomendaría los recursos TIC a sus compañeros de otros cursos y semestres.

7. Discusión y conclusiones

Una vez analizados los datos obtenidos mediante el uso de diferentes técnicas e instrumentos empleados en la investigación, se ofrecen los resultados alcanzados mediante la triangulación metodológica entre métodos. Con base en la experiencia adquirida, los estudiantes reconocen el valor del uso de la tecnología móvil e Internet en su aprendizaje. De igual manera, la inclusión de estas tecnologías en conjunto con la clase invertida, son factores a favor de un nuevo proceso de enseñanza-aprendizaje fundamentado en las TIC y tecnologías emergentes, en el cual la dinámica del uso de esta modalidad de educación es diferente de la tradi-

cional, ya que permite tanto al docente como al estudiante disponer de otras opciones en cuanto a la transmisión y aprehensión del conocimiento. Se debe aclarar que esto solo fue posible por la disposición del docente en asumir estos cambios en su modelo de enseñanza.

También con el uso del aprendizaje móvil híbrido invertido, se motiva al estudiante a estudiar las matemáticas desde otra perspectiva, a su propio ritmo, en la cual la autoevaluación y experimentación en conjunto con el uso de nuevas metodologías se conjugan en nuevas formas de enseñar y aprender.

Por otro lado, el papel del docente durante el estudio permitió reconocer la importancia de este frente al proceso de enseñanza-aprendizaje, pues al fin y al cabo es el artífice y promotor de la dinámica planteada en el proyecto de investigación. El compromiso del docente de orientar a los estudiantes durante todo el curso en el desarrollo de los talleres y las evaluaciones dentro y fuera de clase mediante el uso de las tecnologías emergentes, lo cual es un aspecto clave puesto que la idea es que derive en lo que se ha llegado a denominar como prosumidor (González, Becerra y Olmos, 2018), asumiendo la tarea de facilitador del conocimiento mediante la creación de herramientas digitales por y para el alumno. Con esto en mente, la idea es que el estudiante se convierta en prosumidor creando sus propios contenidos digitales y aportando a su autoformación y a la formación de quienes le rodean y con los que interactúa.

En este orden de ideas, el compromiso del docente debe estar mediado por una previa alfabetización digital, sumado al cambio de actitud y aptitud frente al manejo de las tecnologías emergentes en su quehacer académico. Como complemento a lo anterior y frente al papel del docente, parafraseando a González y Rincón (2013), este es un actor que planifica y gestiona, que establece elementos metacognitivos que llevan al educando a la acción de reflexionar sobre las formas de aprender. Es innegable el cambio de rol del docente frente a la educación mediada por las tecnologías emergentes y TIC en general, ya que se deja de lado el centrismo que sobre él se rendía por parte del edu-

cando, quien adopta un papel más activo y dinámico frente a su propia formación.

Para finalizar, los resultados de haber empleado el aprendizaje móvil híbrido invertido en la clase de Cálculo I en la carrera de Ingeniería de Sistemas en la Universidad de Cundinamarca extensión Chía, demostraron ser efectivos con un porcentaje significativo de estudiantes aprobados frente a semestres anteriores. Con este resultado se evidencia que con la implementación combinada del aprendizaje móvil e híbrido y la clase invertida, son opciones para considerar en la enseñanza de las matemáticas. El ideal de lo que se desarrolló en el presente proyecto es lograr que sea replicado a mediano plazo en las asignaturas de Matemáticas II y III, en las que se implementen nuevas herramientas digitales, entre ellas la realidad aumentada y mundos virtuales como los metaversos. Lo que se persigue con esta propuesta es proyectar la educación digital a nuevos escenarios, donde la tecnología que se tiene disponible, y que está en curso de ser implementada, posibilite a maestros y estudiantes recursos ilimitados tanto para enseñar como para formar.

8. Referencias bibliográficas

- Adell, J., y Castañeda, L. (2012). Tecnologías emergentes. ¿Pedagogías emergentes? En J. Hernández, M. Pennesi, D. Sobrino y A. Vázquez (coord.). *Tendencias emergentes en educación con TIC*. Barcelona: Asociación Espiral, Educación y Tecnología. pp. 13-32.
- Andreu-Sánchez, C., y Martín-Pascual, M. (2014). La educación audiovisual y la creación de prosumidores mediáticos. Estudio de caso. *AdComunica*, 0(7), 131-147. doi:10.6035/149
- AulaPlaneta. (2018). *40 herramientas para aplicar la metodología flipped classroom en el aula*. Recuperado de <http://www.aulaplaneta.com/2015/05/12/recursos-tic/40-herramientas-para-aplicar-la-metodologia-flipped-classroom-en-el-aula-infografia/>
- Bishop, J. L., y Verleger, M. A. (2013). The flipped classroom: a survey of the research. *American Society for Engineering Educa-*

- tion (ASEE) National Conference Proceedings, 30(9), 1-18. Atlanta, GA.
- Cabrera, O. (enero-junio, 2018). La evolución del prosumidor y las marcas comerciales en la era de las TIC. *Revista KEPES*, 15(17), 119-150. doi: 10.17151/kepes.2018.15.17.6
- Casillas, M. A. , Ramírez, M. A., y Ortiz, M. V. (2014). El capital tecnológico una nueva especie de capital cultural. Una propuesta para su medición. En A. Ramírez y M. A. Casillas (Eds.), *Háblame de TIC: Tecnología digital en educación superior* (pp. 23-38). Córdoba: Brujas.
- Chaves, O., Chaves, L. y Rojas, D. (2015). La realidad del uso de las TIC y su mediación pedagógica para enriquecer las clases de inglés. *Ensayos Pedagógicos*, 10(1), 159-183. San José: Universidad Nacional de Costa Rica.
- Day, G. S., Schoemaker, P. H., y Gunter, R. E. (2001). *Gerencia de tecnologías emergentes. Las nuevas tecnologías dan origen a empresas y revolucionan las existentes*. Argentina: Wharton, Vergara Business.
- Federación de enseñanza de CC. OO. (2012). Dificultades de aprendizaje de las matemáticas. *Revista digital para profesionales de la enseñanza*, (20), 1-12.
- Fuerte K., y Guijosa C. (9 de julio de 2018). *Glosario de innovación educativa*. Recuperado de https://observatorio.itesm.mx/edu-news/glosario-de-innovacion-educativa?utm_source=-Observatorio+de+Innovaci%C3%B3n+Educativa&utm_campaign=fdd019fb3a-EMAIL_CAMPAIGN_2017_02_24_COPY_01&utm_medium=email&utm_term=0_667d8bc4cf-fd019fb3a-235837841
- González, K., y Rincón, D. A. (2013). El docente-prosumidor y el uso crítico de la web 2.0 en la educación superior. *Sophia*, (9), 86-101. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-89322013000100007&lng=en&tlng=es
- González, M. O., Becerra, J. J., y Olmos J. E. (2018). Promoción de la autogestión a través de objetos de aprendizaje adaptativos en alumnos de educación superior. *EduTec, Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (63), 15-28 (379). <http://dx.doi.org/10.21556/edutec.2018.63.1037>

- Herrero, P, Ramos, M., y Nó, j. (2016). Los menores como usuarios creadores en la era digital: del prosumer al creador colaborativo. Revisión teórica 1972-2016. *Revista Latina de Comunicación Social*, (71), 1301-1322. doi: 10.4185/RLCS-2016-1147
- Lastra, A. (2016): El poder del prosumidor. Identificación de sus necesidades y repercusión en la producción audiovisual transmedia. *Revista ICONO 14, Revista Científica de Comunicación y Tecnologías Emergentes*, 14(1), 71-94. <https://doi.org/10.7195/ri14.v14i1.902>
- Márquez, J. E. (2018). *Aprendizaje híbrido flexible en el entorno de la educación superior*. Recuperado de <https://www.alfabetizaciondigital.redem.org/aprendizaje-hibrido-flexible-en-el-entorno-de-la-educacion-superior/>
- Mejía, C., Michalón, D., Michalón, R., López, R., Palmero, D., y Sánchez, S. (2017). Espacios de aprendizaje híbridos. Hacia una educación del futuro en la Universidad de Guayaquil. *MediSur*, 15(3), 350-355. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2017000300010&lng=es&tlng=es
- Merla, A., y Yáñez, C. (2016). El aula invertida como estrategia para la mejora del rendimiento académico. *Revista Mexicana de Bachillerato a Distancia*, 16(8), 68-78.
- Mortera, F. (2008). El aprendizaje híbrido o combinado (blended learning): acompañamiento tecnológico en las aulas del siglo XXI. En A. Lozano y J. Burgos (Comps.), *Tecnología educativa en un modelo centrado en la persona*. México, D.F.: Limusa.
- Mortera F. (2009). Diferencia y similitudes entre el aprendizaje combinado (blended learning) y el aprendizaje distribuido (distributed learning), y su relación con la educación a distancia. *Revista Escuela Normal Miguel F. Martínez centenaria y benemérita*, 3(4).
- Observatorio de Innovación Educativa del Tecnológico de Monterrey. (2014). *Edu Trends - Aprendizaje Invertido*. México: Observatorio de Innovación Educativa del Tecnológico de Monterrey.
- Polanía, J. (2014). Blended learning, una alternativa para e-learning: Un modelo educativo. *PAIDEIA*, (19), 91-96. Neiva: Universidad Surcolombiana, Facultad de Educación.

- Quijada, M. C. (2014). *Aprendizaje móvil: experiencias y nuevas perspectivas*. Ponencia presentada en el Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación, Buenos Aires, Argentina, 12,13 y 14 de noviembre de 2014.
- Strickland, J. (2018). *Is there a web 1.0?* Recuperado de <https://computer.howstuffworks.com/web-101.htm>
- Sugarman, B., Davis, V., Burkholder G., y Everhart, D. (2016). *Aprendizaje híbrido, mixto y en línea en laureate education. Exploración de los mitos y las mejores prácticas*. Laureate Network Office. Laureate International Universities.
- Tapia, G. (2011). *Tecnologías emergentes y factores financieros elementales a considerar*. Ponencia presentada en las XXXI Jornadas Nacionales de Administración Financiera, Universidad de Buenos Aires, Argentina, septiembre de 2011.
- Torres, J. C., Infante, A., y Torres, P. V. (2015). Aprendizaje móvil: perspectivas. *RUSC, Universities and Knowledge Society Journal*, 12(1), 38-49. doi: <http://dx.doi.org/10.7238/rusc.v12i1.1944>
- Veletsianos, G. (2010). A definition of emerging technologies for education. En G. Veletsianos (ed.), *Emerging technologies in distance education*, (pp. 3-22), Athabasca, CA: Athabasca University Press.

Aprendizaje colaborativo de programación asistido por computador

Collaborative learning of computer-aided programming

Aprendizagem colaborativa de programação assistida por computador

Jhon Alexis Méndez Lara

Docente de tiempo completo del programa de Ingeniería de Software,
Universidad Manuela Beltrán, Bogotá, D. C.,
jhon.mendez@docentes.umb.edu.co

Resumen

Existen en la actualidad diferentes investigaciones que demuestran que el aprendizaje colaborativo potencia las habilidades sobre componentes sociales y cognitivos de un estudiante. El objetivo de este artículo es presentar una arquitectura de aprendizaje colaborativo que permita tener en cuenta los estilos de aprendizaje, la crítica de pares y la tecnología como elementos determinantes en la mejora de los procesos de aprendizaje de programación de computadores. Para ello se desarrolló la herramienta de *software* llamada ACPAC, la cual fue probada en estudiantes de primeros semestres de Ingeniería con el fin de determinar sus estilos de aprendizaje, y así poder formar grupos homogéneos, que posibilitaran establecer las tareas correctas de acuerdo con la conformación de estos. Para el análisis de estilos de aprendizaje se utilizó el cuestionario de Índice de Estilos de Aprendizaje propuesto por Linda Silverman y Richard Felder.

Palabras clave: *Aprendizaje colaborativo, Aprendizaje colaborativo asistido por computador, Aprendizaje de ciencias de la computación, Estilos de aprendizaje.*

Abstract

There are currently different investigations that show that collaborative learning enhances the skills on social and cognitive components of a student. The objective of this article is to present a collaborative learning architecture that allows considering learning styles, peer criticism, and technology as determining elements in the improvement of computer programming learning processes. For this, the software tool called ACPAC was developed, which was tested in students of first semesters of Engineering to determine their learning styles, and thus be able to form homogeneous groups, which would allow to establish the correct tasks according to the conformation of these. For the analysis of learning styles, we used the Learning Styles Index questionnaire proposed by Linda Silverman and Richard Felder.

Keywords: *Collaborative learning, Computer-assisted collaborative learning, Computer science learning, Learning styles.*

Resumo

Existem atualmente diferentes investigações que mostram que a aprendizagem colaborativa aprimora as habilidades em componentes sociais e cognitivos de um aluno. O objetivo deste artigo é apresentar uma arquitetura de aprendizado colaborativo que permita levar em consideração estilos de aprendizagem, crítica de pares e tecnologia como elementos determinantes na melhoria dos processos de aprendizagem de programação computacional. Para isso, foi desenvolvida a ferramenta de software ACPAC, que foi testada em alunos dos primeiros semestres de Engenharia, a fim de determinar seus estilos de aprendizagem e, assim, formar grupos homogêneos, o que permitiria estabelecer as tarefas corretas de acordo com a conformação destes. Para a análise dos estilos de aprendizagem, utilizou-se o questionário Learning Styles Index proposto por Linda Silverman e Richard Felder.

Palavras chave: *Aprendizagem colaborativa, Aprendizagem colaborativa assistida por computador, Aprendizagem de ciência da computação, Estilos de aprendizagem.*

1. Introducción

En la actualidad existen diferentes herramientas de *software* que permiten apoyar el aprendizaje colaborativo (AC) de los estudiantes de programación de computadores. El aprendizaje colaborativo surge como un enfoque en el cual un grupo de personas participa de manera voluntaria para alcanzar un objetivo común, propiciando el debate, la discusión y el diálogo (Bruffee, 1983). Todas estas características combinadas con el uso de tecnología, como mediadora en el proceso de aprendizaje, ha permitido que se entre a cuestionar sobre las diferentes formas tradicionales de enseñanza-aprendizaje en el ámbito de la programación ya que, en principio, es una actividad que profesionalmente se desarrolla en grupo y, por otro lado, en el proceso de enseñanza de esta se propicia la competencia y el aislamiento (Deitrick, Shapiro, y Gravel, 2016) describe, and understand the construct's complexities. To do so, we replicate prior work assessing equity in programming pairs (Lewis & Shah, 2015; Shah, Lewis, & Cairns, 2014).

A partir del surgimiento del AC en los años cincuenta se han realizado diferentes estudios dentro de los cuales se encuentran (Ziszar y Radosav, 2013; Dorneles, et al., 2010; Judele, Tsovaltzi, Puhl y Weinberger, 2014; Laakso, Kaila y Rajala, 2018; Maksimenkova y Alexey, 2015; Pair, 2017; Serrano, Paredes, Velázquez, Alcover y Castellanos, 2016; y Zakiah, s. f.), que pretenden demostrar cómo la colaboración entre estudiantes, profesores y otros profesionales puede potenciar el rendimiento académico de los estudiantes de programación; en algunos casos, han hecho uso de herramientas populares tales como GitHub o Facebook; en otros, se han desarrollado herramientas de *software* a la medida para apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje en una institución en particular

Kennet Bruffee ha sido uno de los principales autores que ha promovido el uso del aprendizaje colaborativo en las aulas universitarias, y a partir de la realización de diferentes experimentos ha demostrado que el AC fortalece las habilidades sociales tales como: la comunicación, el liderazgo, la confianza en los de-

más, la capacidad de intercambio de roles y sinergia, entre otras (Barkley, Cross y Major, 2007). Sin embargo, ha encontrado dos inconvenientes principales en la aplicación de este enfoque de aprendizaje; el primero, que existe una fuerte resistencia cuando se solicita a un estudiante criticar el trabajo de un compañero; el segundo, que no se pueden establecer buenos grupos colaborativos cuando no se conocen los estilos de aprendizaje del curso.

El objetivo de esta investigación es proponer una arquitectura de aprendizaje colaborativa de programación, que tenga como elemento fundamental un componente tecnológico que permita facilitar la conformación de grupos entre profesores, estudiantes y otros profesionales, de acuerdo con los diferentes estilos de aprendizaje y, adicional a esto, apoyar la crítica entre pares e intentar determinar cómo esta puede mejorar el rendimiento de los estudiantes de programación. Teniendo en cuenta lo anterior, este escrito propone resolver las siguientes preguntas:

- ¿Qué método se puede aplicar para determinar un estilo de aprendizaje de un estudiante?
- ¿Qué técnicas de aprendizaje colaborativo se pueden aplicar para fomentar la crítica entre pares?

Este documento está estructurado en las siguientes secciones: sección II, presenta los trabajos relacionados sobre herramientas de aprendizaje colaborativo aplicadas a la enseñanza de programación y las técnicas más usadas; sección III, muestra el método propuesto a partir del desarrollo de una arquitectura de aprendizaje colaborativo; y sección IV, enseña los resultados obtenidos en la aplicación de un prototipo basado en arquitectura de aprendizaje propuesta para una muestra de estudiantes universitarios de Ingeniería de *Software*. Finalmente, en la sección V se expone la discusión y las conclusiones del trabajo realizado.

2. Trabajos relacionados

a. Herramientas tecnológicas aplicadas al aprendizaje colaborativo.

El uso de la tecnología en el proceso de aprender ha dado como resultado mejoras en cumplimiento de los objetivos de entendimiento individual de los estudiantes (Margarita Vinagre Laranjeira, n.d.). Tomando como referente nuevamente la teoría sociocultural de Vigostky, entendemos que el aprendizaje se potencia cuando existen interacciones de los estudiantes con el mundo social; en este contexto, una herramienta tecnológica se convierte en el mejor mediador para que se pueda proporcionar una adecuada y más eficaz interacción entre estudiantes, con base en esto se habla de un nuevo paradigma denominado *aprendizaje colaborativo asistido por computador*, por sus siglas en inglés (CSCL) (Zañartu, 2003), el cual apunta a convertir todo lo tecnológico como herramienta para soportar y representar el conocimiento.

A partir de este nuevo paradigma se han cimentado diferentes herramientas tecnológicas, algunas basadas en las técnicas de aprendizaje colaborativo y otras simplemente como medio de transmitir información; en este último aspecto cabe precisar que para que se tenga un uso adecuado de las tecnologías aplicadas a la educación y, en especial, al aprendizaje colaborativo, hay que entender y conocer diferentes aspectos que nos conducen a utilizarlas de manera correcta. Dentro de estas tenemos (Margarita Vinagre Laranjeira, s. f.):

- Entender los diferentes modelos de aprendizaje en línea.
- Conocer qué papel tiene el docente en el CSCL.
- Saber cómo organizar los intercambios de CSCL.
- Poder asegurar el desarrollo de competencias lingüísticas e interculturales en CSCL.

- Distinguir qué tipo de herramienta es adecuada para llevar a cabo una determinada actividad en CSCL.

Kennet Brufee ha sido uno de los principales autores que ha promovido el uso del aprendizaje colaborativo en las aulas universitarias, y a partir de la realización de diferentes experimentos ha demostrado que el AC fortalece las habilidades sociales tales como: la comunicación, el liderazgo, la confianza en los demás, la capacidad de intercambio de roles y sinergia, entre otras (Barkley, Cross y Major, 2007). Sin embargo, ha encontrado dos inconvenientes principales en la aplicación de este enfoque de aprendizaje; el primero, que existe una fuerte resistencia cuando se solicita a un estudiante criticar el trabajo de un compañero; el segundo, que no se pueden establecer buenos grupos colaborativos cuando no se conocen los estilos de aprendizaje del curso:

Cuadro 1. Estudios sobre sistemas de información apoyados en aprendizaje colaborativo.

Sistema CSCL	Descripción	Año
Wbccls (Liu, Lin y Wang, 2004)	Sistema web basado en la teoría del constructivismo social que permite a una serie de estudiantes y maestros compartir conocimientos para un determinado objetivo de aprendizaje.	2004
Collaborative Learning in Facebook (Judele et al., 2014).	Se utiliza la red social Facebook como propuesta para desarrollar aprendizaje colaborativo.	2014
Collaborative Learning Assistant for Android (Zamfrache, Olteanu y Tapus, 2013).	Asistente que permite interacción maestro-alumno por medio de dispositivos móviles.	2013
Enhancing Participation Balance in Intercultural Collaboration (Fukuma, Tsutsui, Takada y Piumarta, 2017).	Aplicación que permite realizar intercambios culturales de manera colaborativa entre diferentes actores con múltiples idiomas.	2017

Fuente: elaboración propia.

b. CSCL en ciencias de la computación

A partir del surgimiento del aprendizaje colaborativo asistido por computador se han realizado una serie de propuestas pedagógicas orientadas al desarrollo de *software*. Se pueden destacar: el aprendizaje basado en problemas, las comunidades de aprendizaje de código y el aprendizaje basado en proyectos, entre otros. Todas estas propuestas se caracterizan por hacer uso de la tecnología como mediadora en el proceso de aprendizaje, poseer un diseño centrado en el estudiante y hacer un gran énfasis en lograr un aprendizaje significativo, que le permita tener al estudiante contextos lo más reales posibles (Margarita, s. f.).

A continuación, se mencionan algunos escritos que presentan aplicaciones desarrolladas en el modelo de aprendizaje colaborativo, encaminadas a apoyar las áreas del aprendizaje de programación de computadores.

Cuadro 2. Estudios sobre plataformas para el aprendizaje colaborativo en programación de computadores.

Sistema CSCL	Descripción	Año
Collaborative Learning Model of Software Engineering Using Github for Informatics Student (Zakiah, s. f.).	Se ha demostrado cómo el sistema de control de versiones de código GitHub se puede implementar en ambientes de trabajo colaborativo en áreas específicas de la ingeniería de software.	2016
Mendo (Stankov, Jovanov, Kostadinov, y Madevska Bogdanova, 2015)	Este proyecto muestra inicialmente la descripción de un software desarrollado para calificación automática de código fuente, denominado MENDO, como solución al problema que tienen los docentes cuando requieren calificar programas informáticos en cursos con gran número de estudiantes.	2015
Algoweb (Dorneles, Picinin Jr. y Adami, 2010).	Es un Sistema e-learning que permite a los estudiantes realizar trabajos colaborativos de programas informáticos, en cursos introductorios.	2010
Tmed-Cog (Pair, 2017).	Describe un <i>software</i> que permite desarrollar habilidades en programación de computadores mediante el planteamiento de retos de código fuente.	2017

Sistema CSCL	Descripción	Año
Pex4Fun (Čisar et al., 2013).	La herramienta Pex4Fun propone diferentes tipos de retos y duelos para la comprensión del lenguaje de programación .Net. Se ha experimentado en 82 estudiantes de programación divididos en dos grupos, en los cuales a uno se le enseña con la aplicación Pex4Fun y al otro de la manera tradicional. Los resultados presentados dan a conocer un entendimiento mayor para el grupo que utilizó el asistente de aprendizaje, lo cual deja un motivante en desarrollar aplicaciones de esta índole para mejorar las clases de programación en las instituciones.	2013
Applying Software Development Lifecycles in Teaching Introductory Programming Courses (Rahman y Juell, 2006)	Describe un modelo que puede ser aplicado en la construcción de una herramienta que soporte métricas de calidad de software en cursos introductorios de programación. El planteamiento del modelo es bueno, sin embargo, no adoptan CSCL.	2006
Online Judge System and Its Applications in C Language Teaching (Wu, Liu, Qiu y Liu, 2016).	Los jueces en línea muchas veces han sido utilizados como herramientas competitivas en cursos de programación, este estudio pretende adoptar un juez con el fin de realizar aprendizaje colaborativo por medio de técnicas de CSCL.	2016

Fuente: elaboración propia.

Estas aplicaciones demostraron que el CSCL puede mejorar las habilidades de estudiantes con problemas en el aprendizaje de la programación de computadores, sin embargo, algunos aspectos que no se tuvieron en cuenta y que son relevantes para establecer CSCL fueron:

- El manejo de conceptos de cooperación, trabajo en equipo, comunicación y responsabilidad.
- La colaboración de diferentes actores en el aprendizaje, incluyendo maestros.
- Estímulo de la comunicación interpersonal.
- Intercambio de información.
- Seguimiento del proceso de aprendizaje.
- Acceso a la información y los contenidos.

Es clave tener en cuenta —en el desarrollo de las aplicaciones apoyadas en el aprendizaje colaborativo— la diferencia entre una herramienta tecnológica de soporte y una de apoyo para el aprendizaje, ya que en los estudios anteriormente expuestos se centran en el desarrollo del *software* y no en cómo este afecta y complementa el aprendizaje en los estudiantes, es decir, que no miden la participación de los integrantes de grupo para llevar a cabo una meta (Carrió, 2007).

2. Método

Los estilos de aprendizaje son preferencias que un estudiante utiliza como método propio para aprender (Felder y Silverman, 1988). Estas preferencias ponen un punto de partida para que un docente imparta una cátedra específica ya que establecen directrices sobre cómo llegar a captar la atención de todos los participantes de un determinado curso.

Este método se basa en dos elementos claves: los estilos de aprendizaje y la crítica de pares. El primer elemento está enfocado a estudiantes de programación, con el fin de encontrar afinidades entre las diferentes maneras de aprender y, de esta manera, poder conformar grupos de aprendizaje colaborativo más homogéneos. Si es conocido un estilo de aprendizaje, también es posible conocer y determinar un estilo de enseñanza (Felder y Silverman, 1988); partiendo de esta premisa, se pueden enfocar diferentes propuestas de enseñanza dentro del aula para potenciar el aprendizaje de los participantes. Una de estas propuestas corresponde al segundo elemento, el cual consiste en utilizar la crítica entre pares como complemento del proceso de aprendizaje, todo esto enmarcado dentro de un entorno de aprendizaje colaborativo..

Para validar esta propuesta se desarrolló una herramienta de *software* denominada ACPAC (aprendizaje colaborativo de programación asistida por computador), la cual se basó en las características del aprendizaje colaborativo asistido por computador

(CSCL); dentro de estas se pueden encontrar la colaboración, la comunicación, los objetivos de aprendizaje y la evaluación.

Descripción de la arquitectura

El diseño de la herramienta ACPAC parte de la utilización de una Arquitectura de Aprendizaje Colaborativo de Programación Asistida por Computador (figura 1).

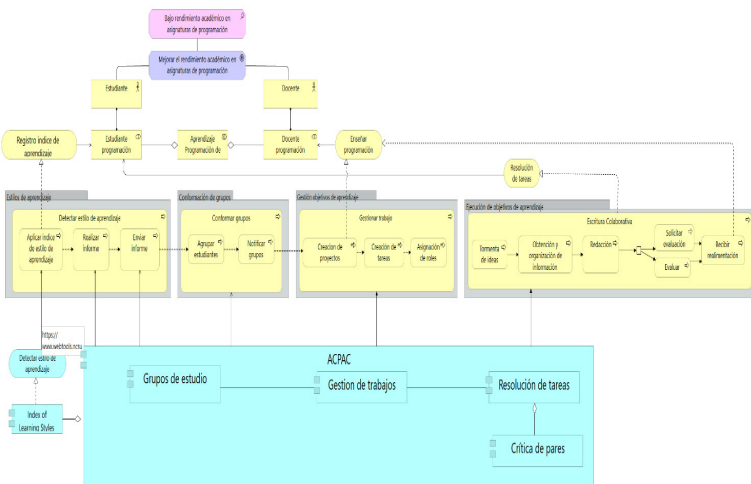


Figura 1. Arquitectura de aprendizaje colaborativo de programación asistido por computador.

Esta arquitectura se diseñó con el fin de tener un punto de partida en el reconocimiento de los procesos, actores, roles, componentes de *software* y objetivos que se persiguen con el uso del *software* en un entorno de aprendizaje colaborativo. Para el reconocimiento y entendimiento de estos factores se utilizó el lenguaje ARCHIMATE que aunque en principio es un lenguaje utilizado para entornos empresariales, la facilidad y variedad de artefactos estándares lo hicieron pertinente en la propuesta de este método.

Esta arquitectura parte de la determinación de un objetivo principal, el cual consiste en mejorar el rendimiento académico de los estudiantes que cursan asignaturas de programación de computadores; para que puedan darse las condiciones necesarias en el cumplimiento de este objetivo necesariamente tiene que existir colaboración tanto de estudiantes y docentes como de otros profesionales. Con base en lo anterior, el cuadro 3 presenta los procesos llevados a cabo en la ejecución de los artefactos de *software* que soportan la creación de grupos de aprendizaje, la gestión de las tareas, y la crítica de pares.

Cuadro 3. Descripción de procesos ACPAC.

Procesos	Descripción
Detectar estilos de aprendizaje.	El sistema inicialmente debe detectar los diferentes estilos de aprendizaje de los estudiantes de un curso de programación, para ello cada uno debe registrarse en la herramienta y diligenciar un cuestionario denominado "Cuestionario de índice de estilos de aprendizaje" (Felder y Silverman, 1988). Este cuestionario es enviado al docente encargado del curso
Conformación de grupos.	Este proceso está orientado hacia el docente, quien es el que decide cómo estarán conformados los grupos de acuerdo con la determinación de cada estilo de aprendizaje de sus alumnos.
Gestionar trabajo.	El proceso de gestión de trabajo pretende utilizar las características del aprendizaje colaborativo propuesto por Kennet Bruffee (Bruffee, 2010) para la asignación de tareas a los estudiantes. El principal enfoque de este proceso es actuar en la asignación de roles y la crítica de pares.
Escritura colaborativa.	La escritura colaborativa es una técnica de aprendizaje colaborativo propuesta por (Barkley et al., 2007) en la cual varios estudiantes comparten sus conocimientos en la redacción de soluciones orientadas al cumplimiento de un objetivo común. Cabe resaltar que la técnica fue inicialmente planteada para abortar escritos literarios, sin embargo, estudios como los de (Revelo, Collazos y Jiménez, 2018) dan por hecho la programación como una actividad de escritura, al ser el código fuente un determinante para conocer si un programa fue desarrollado de la manera correcta o no, debido a que es este el que finalmente se interpreta, compila y ejecuta.

Fuente: elaboración propia.

Ejecución de procesos

Detectar estilos de aprendizaje

En el desarrollo de este proceso el estudiante debe registrarse en el *software* con el fin de enviarle una solicitud a su docente, y de esta manera poderlo vincular en un grupo (figura 2).

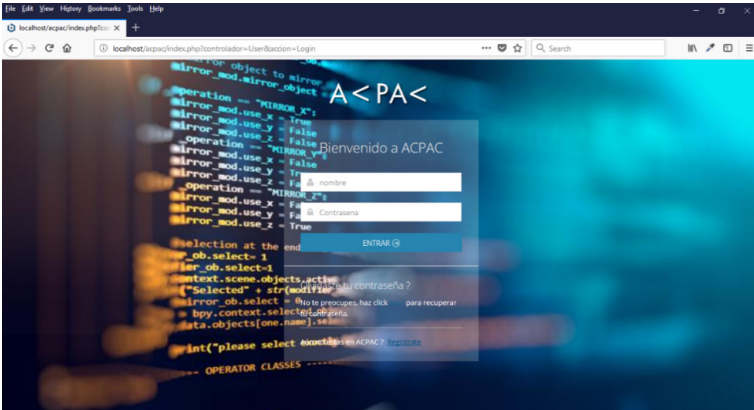


Figura 2. Interfaz del *software* ACPAC - Registro.

Una vez el estudiante es aceptado por su docente procede a diligenciar el cuestionario de índice de estilo de aprendizaje, para darle a conocer a su docente cómo aprende mejor. El índice de estilos pretende, a partir de un modelo, clasificar a los estudiantes de acuerdo con una serie de escalas en las cuales se puede determinar cómo procesan mejor la información (Felder y Silverman, 1988). Un aspecto por resaltar es que este índice es usado específicamente para aprendizaje-enseñanza en estudiantes de ingeniería y concibe una relación entre conceptos propios de abstracción, métodos deductivos e inductivos muy usados en varias ramas de esta disciplina..

Las dimensiones en las cuales puede ser ubicado un estudiante según su estilo de aprendizaje se pueden observar en el cuadro 4. Estas dimensiones corresponden al modelo de Felder-Silver-

man (Felder y Silverman, 1988), el cual determina ocho estilos de aprendizaje adicionales a los conocidos auditivo y visual.

Cuadro 4. Estilos de aprendizaje.

Estilo de aprendizaje	Descripción
Activo	Estudiantes que aprenden cuando aplican directamente los conceptos por lo general experimentan y sacan conclusiones de lo que funciona y lo que no.
Sensorial	Estudiantes que tienden a ser pacientes con detalles y son buenos para memorizar hechos y hacer trabajos prácticos por lo general en un laboratorio. Adicional a esto resuelven problemas siempre y cuando existan métodos bien estandarizados.
Visual	Estudiantes que aprenden de manera visual por medio de imágenes, gráficos diagramas, organigramas, diagramas de flujo y otras demostraciones gráficas.
Secuencial	Estudiantes que comprenden la información suministrada siempre y cuando se le den los pasos por seguir para llegar al conocimiento, así no tengan un entendimiento global del problema.
Reflexivo	Estudiantes que prefieren pensar primero silenciosamente antes de ejecutar acciones o tomar decisiones. Prefieren trabajar en forma individual y tienden a conceptualizar las situaciones.
Intuitivo	Estudiantes con una curiosidad alta, utilizan los datos de aprendizaje y prefieren descubrir diferentes posibilidades y relaciones para resolver un problema de muchas maneras.
Verbal	Estudiantes con preferencias al aprendizaje verbal, comprenden cualquier material cuando escuchan las explicaciones de los compañeros de clase o del docente, y aprenden aun más cuando se hace la explicación detallada verbalmente.
Global	Estudiantes que se les facilita entender el contexto de un problema, pero no su detalle al momento de aplicar el conocimiento de manera concreta.

Fuente: elaboración propia, basada en modelo de Felder-Silverman.

Con base en esta información de estilos de aprendizaje cualquier estudiante puede conocer qué preferencias tiene en cuanto a la manera de retener y aplicar la información (figura 3). Por otro

lado, el docente conoce estas preferencias y agrupa a sus estudiantes de tal forma que puedan potenciar su aprendizaje, en este caso, de cualquier tema relacionado con la programación de computadores (figura 4).

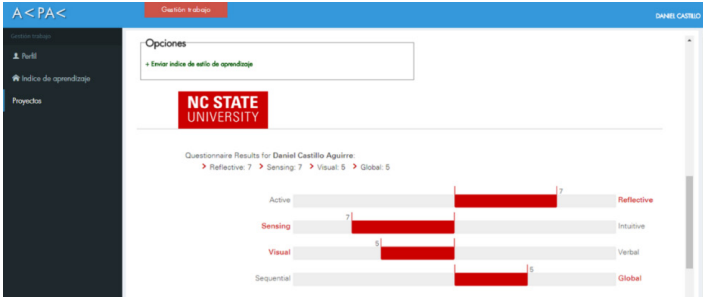


Figura 3. Interfaz del software ACPAC - Índice de estilo de aprendizaje.

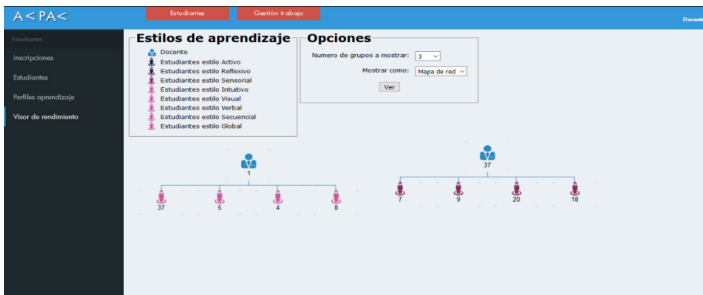


Figura 4. Interfaz del software ACPAC - Grupos de estudio.

4. Resultados

Con el fin de validar la arquitectura de aprendizaje propuesta, se tomó como muestra un conjunto de estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Manuela Beltrán (UMB) con el objetivo de conocer sus estilos de aprendizaje y poder determinar cuál podría ser una posible estructuración de grupos de aprendizaje colaborativo.

Participantes

Un grupo de veinte estudiantes de la asignatura “Lógica de programación” de la Facultad de Ingeniería de la UMB fueron seleccionados como muestra para participar en el experimento de estilos de aprendizaje; para utilizar la herramienta se usó un servidor local de esta universidad con el fin de suministrar el enlace a cada uno de los estudiantes participantes por medio del sistema Aulanet (sistema de gestión académica de la UMB).

Metodología

Como fue mencionado, en los procesos del método, los estudiantes inicialmente deben solicitarle al docente la habilitación del acceso para realizar el cuestionario de identificación del estilo de aprendizaje. Este aspecto es clave ya que las condiciones adecuadas del aprendizaje colaborativo son que el estudiante participe voluntariamente, siempre buscando potenciar sus habilidades cognitivas a través de sus compañeros. Una vez el estudiante puede ingresar a la herramienta, contesta el cuestionario de 44 preguntas, las cuales son las mismas para todos y están definidas en el modelo de Felder-Silverman. Cada estudiante, a partir del conocimiento de su estilo de aprendizaje, debe enviar al docente (quien es otro usuario de la herramienta), los resultados arrojados del cuestionario. Posteriormente el docente identifica las afinidades de estilos y conforma de manera manual los grupos de aprendizaje, con el fin de crear diferentes proyectos de acuerdo con los resultados que espera obtener de cada grupo. Cada estudiante tiene la opción de opinar o libremente ingresar a un grupo de estudio que tiene diferentes proyectos por solucionar.

Resultados

Basados en el uso de la herramienta ACPAC por parte de la muestra de estudiantes, se obtuvieron los siguientes datos (figura 5), que permitieron establecer el índice predominante en el curso de lógica de programación, de tal manera que se puedan establecer actividades genéricas dentro del aula. Adicionalmente, estos

datos permitieron conocer cómo podrían conformarse grupos de aprendizaje de acuerdo con las afinidades de cada estudiante participante (cuadro 5).



Figura 5. Índice predominante de estilos de aprendizaje en el curso de lógica de programación.

Cuadro 5. Conformación de grupos conforme el índice de estilos de aprendizaje.

Estilo de aprendizaje	Número de grupos	Número de integrantes
Sensorial	1	4
Activo	1	4
Secuencial	1	4
Visual	2	4

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados, se puede notar una alta inclinación de la muestra con respecto al aprendizaje visual. Estos tipos de estudiantes comprenden los temas tratados en clase siempre y cuando se muestren gráficos, tutoriales, videos, etc. Algo para tener en cuenta en esta muestra es que no predominó el aprendizaje intuitivo, el cual se podría suponer es necesario para aprender temas de ingeniería de *software*, al contener los procesos de

abstracción como fundamentales en la resolución de un problema determinado.

5. Discusión y conclusiones

Este artículo presentó una arquitectura de aprendizaje colaborativo enfocado al aprendizaje de programación de computadores mediante la resolución de proyectos, según los estilos de aprendizaje de cada estudiante. Si bien no se obtuvieron los datos necesarios para conocer si la arquitectura propuesta puede potenciar el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería, sí se logró tener un punto de partida para determinar cuáles estilos de aprendizaje pueden ser sobresalientes en las aulas de clase.

La arquitectura de aprendizaje colaborativo propuesta fue soportada con la herramienta de *software* ACPAC. Las funcionalidades de esta aplicación no se enfocarán en solo determinar qué estilos de aprendizaje predominan en el aula, sino también, a futuro, convertirlas en elementos mediadores del proceso de aprendizaje, que puedan medir el rendimiento de los estudiantes durante las sesiones de clase en cursos de programación.

Se propone para el futuro determinar cómo la crítica de pares — la cual es un elemento importante en la arquitectura de aprendizaje colaborativo— puede favorecer y potenciar el aprendizaje de los estudiantes de los cursos de programación; aunque este elemento se tuvo en cuenta en el diseño y desarrollo de la aplicación, se pretende buscar indicadores que permitan medir y evaluar la inclusión de este elemento en el proceso cognitivo de un estudiante.

6. Referencias bibliográficas

Arora, R., Goel, S., y Mittal, R. K. (2017). Supporting collaborative software development in academic learning environment: A collaborative pair and quadruple programming based approach. *2017 Tenth International Conference on Contemporary Computing (IC3)*, 1-7.

- Barkley, E., Cross, P., y Major, C. (2007). Técnicas de aprendizaje colaborativo. Manual para el profesorado universitario. Madrid: Ediciones Morata S. L.
- Bruffee, K. (1983). Teaching writing through collaboration. *New Directions for Teaching and Learning*, (14), 23-29. doi: <https://doi.org/10.1002/tl.37219831405>
- Bruffee, K. A. (2010). *Sharing*, (mayo, 2013), 37-41.
- Carrió, M. L. (2007). Ventajas del uso de la tecnología en el aprendizaje colaborativo. *Revista Iberoamericana de Educación*, 41(4),1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.35362/rie4142447>
- Čisar, S. M., Pinter, R., Čisar, P., y Radosav, D. (2013). *Teaching computer science in a web-based environment*. SISY 2013 - IEEE 11th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, Proceedings, 415-418. <https://doi.org/10.1109/SISY.2013.6662613>
- Deitrick, E., Shapiro, R. B., y Gravel, B. (2016). How do we assess equity in programming pairs? *Proceedings of International Conference of the Learning Sciences, ICLS*, 1, 370-377. Recuperado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2--2s0.84987808290-&partnerID40=&m5d-432975a0d0a83c45b1830383fa5b5bf6>
- Dorneles, R. V., Picinin Jr., D., y Adami, A. G. (2010). *ALGOWEB: A web-Based Environment for Learning Introductory Programming*. 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, Sousse, 83-85. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2010.30>
- Dorneles, R. V., Picinin Jr., D., Adami, A. G., Jin, H., Rahman, S. M., Juell, P. L., ... Xu, Y. (2010). *The teaching method about programming design language*. 5th International Conference on Computer Science & Education, (Iccsit), 170-172. <https://doi.org/10.1109/PROC.1978.11050>
- Felder, R., y Silverman, L. (1988). Learning and teaching styles in engineering education. *Engineering Education*, 78, (June), 674-681. <https://doi.org/10.1109/FIE.2008.4720326>
- Fukuma, Y., Tsutsui, K., Takada, H., y Piumarta, I. (2017). A Scratch-Based Collaborative Learning System with a Shared Stage Screen. En Yoshino T., Yuizono T., Zurita G., Vassileva

- J. (eds.), *Collaboration Technologies and Social Computing. Co-llabTech 2017. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 10397. Springer, Cham (pp. 84-98). https://doi.org/10.1007/978-3-319-63088-5_8
- Ioannou, A., Mama, M., y Demetriou, S. (2013). Factors influencing *online* collaborative learning: why some groups take off better than others? *Computer-Supported Collaborative Learning Conference, CSCL*, vol. 2, 50-53. Recuperado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84886577241&partnerID=40&md5=44ccb8b0a71980d90a757b7bf8b07fba>
- Judele, R., Tsovaltzi, D., Puhl, T., y Weinberger, A. (2014). *Collaborative learning in facebook: adverse effects of individual preparation*. 47th Hawaii International Conference on System Sciences, Waikoloa, HI, 1616-1624. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.207>
- Laakso, M. J., Kaila, E., y Rajala, T. (2018). ViLLE - collaborative education tool: designing and utilizing an exercise-based learning environment. *Education and Information Technologies*, (23), 1655. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9659-1>
- Liu, Y., Lin, F., y Wang, X. (2004). Using agents in web-based constructivist collaborative learning system. *Tsinghua Science and Technology*, 9(2), 189-196.
- Maksimenkova, O., y Neznanov, A. (2015). *Blended learning in software engineering education: The application lifecycle management experience with computer-supported collaborative learning*. 2015 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL), (pp. 655-662), Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICL.2015.7318104>
- Pang, Y., Mugno, R., Xue, X., y Wang, H. (2015). *Constructing collaborative learning groups with maximum diversity requirements*. IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies: Advanced Technologies for Supporting Open Access to Formal and Informal Learning, ICAALT 2015, 34-38. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2015.77>
- Rahman, S. M., y Juell, P. L. (2006). *Applying software development lifecycles in teaching introductory programming courses*. 19th Conference on Software Engineering Education & Training

- (CSEET'06), Turtle Bay, HI, 17-24. <https://doi.org/10.1109/CSEET.2006.7>
- Revelo, Ó., Collazos, C., y Jiménez, J. (2018). El trabajo colaborativo como estrategia didáctica para la enseñanza/aprendizaje de la programación: una revisión sistemática de literatura. *Tecnológicas*, 21(41), 115-134. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992018000100008&lng=en&lng=es
- Sancho-Asensio, A., Sole, X., Montero, J., Navarro, J., Canaleta, X., y Vernet, D. (2014). *Support tool for the formation of working groups in collaborative learning environments*. 9th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Barcelona, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CISTI.2014.6876942>
- Serrano, L. M., Paredes, M., Velázquez, J. A., Alcover, C.-M., y Castellanos, M. E. (2016). MoCAS: a mobile collaborative tool for learning scope of identifiers in programming courses. *International Journal of Engineering Education*, 32(2), 969-981. Recuperado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84962546750&partnerID=40&md5=0d0221dfd5eee01918c6fb899c3d234b>
- Stankov, E., Jovanov, M., Kostadinov, B., y Madevska Bogdanova, A. (2015). A new model for collaborative learning of programming using source code similarity detection. *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Tallinn, (pp. 709-715). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2015.7096047>
- Vinagre, M. (2010). *Teoría y práctica del aprendizaje colaborativo asistido por ordenador*. Madrid: Síntesis.
- Wu, H., Liu, Y., Qiu, L., y Liu, Y. (2016). Online judge system and its applications in C language teaching. *International Symposium on Educational Technology (ISET)*, Beijing, 57-60. <https://doi.org/10.1109/ISET.2016.14>
- Zakiah, A., y Fauzan, M. N. (2016). *Collaborative learning model of software engineering using Github for informatics student*. 4th International Conference on Cyber and IT Service Management, Bandung, 1-5. doi: 10.1109/CITSM.2016.7577521

- Zamfirache, V., Olteanu, A., y Tapus, N. (2013). *Collaborative learning assistant for Android*. 11th RoEduNet International Conference, Sinaia, 1-6. doi: 10.1109/RoEduNet.2013.6511757
- Zañartu-Correa, L. M. (2003). Aprendizaje colaborativo: una nueva forma de diálogo interpersonal y en red. *Revista digital de educación y nuevas tecnologías*, (28), 1-12. Recuperado de <https://tic.sepdf.gob.mx/micrositio/micrositio2/archivos/AprendizajeColaborativo.pdf>

Tecnología educativa en la educación superior

Educational technology in higher education

Tecnología educacional no ensino superior

Harvey Hernández Yomayusa

Docente de la Universidad de Cundinamarca -
Facultad de Ingeniería, Área de Ciencias Básicas. Facatativá, Colombia.
hihernandez@ucundinamarca.edu.co.
ORCID 0000-0001-7849-4133.

Luz Jaddy Castañeda Rodríguez

Docente de la Universidad de Cundinamarca -
Facultad de Ingeniería, Área de Ciencias Básicas. Facatativá, Colombia.
ljcastaneda@ucundinamarca.edu.co.
ORCID 0000-0002-6970-9144.

Angélica Bravo Bohórquez

Docente de la Universidad de Cundinamarca -
Facultad de Ingeniería, Área de Ciencias Básicas. Facatativá, Colombia.
abravob@ucundinamarca.edu.co.
ORCID 0000-0001-7655-4278.

Alejandro Hernández Hernández

Docente de la Universidad de Cundinamarca -
Facultad de Ingeniería, Área de Ciencias Básicas. Facatativá, Colombia.
luisahernandez@ucundinamarca.edu.co.
ORCID 0000-0003-4642-5648.

Resumen

En la imperiosa necesidad de fortalecer las habilidades del pensamiento matemático y científico, propios de las ciencias exactas y naturales en los estudiantes de la Universidad de Cundinamarca, se propone involucrar el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), en aras de optimizar el espacio y tiempo de enseñanza y aprendizaje, así como de incentivar en los estudiantes su entusiasmo por el aprendizaje de las ciencias básicas. Así, se hace necesario hacer una revisión concep-

tual sobre los lineamientos que definen la Tecnología Educativa, como requisito para el planteamiento de una propuesta pedagógica sólida que atienda las necesidades de formación profesional sustentada en una formación básica idónea. Como resultado, se identifica la metodología de la *Clase Invertida* o *Flipped Classroom* como un enfoque que ofrece numerosas ventajas, que atiende la problemática identificada. Así mismo, se definen las características y los pasos por seguir en su implementación.

Palabras clave: *alfabetización digital, educación superior, clase invertida, tecnología educativa, TIC.*

Abstract

In the urgent need to strengthen the mathematical and scientific thinking skills of the exact and natural sciences in the students of the University of Cundinamarca, it is about using the ICT Information and Communication Technologies, in this article space and time of teaching and learning, as well as incentive in the students their enthusiasm for learning the basic sciences. Thus, it is necessary to make a conceptual revision on the guidelines that in educational technology, such as the proposal of a pedagogical proposal, in a store, in the needs of professional training, based on a suitable basic training. As a result, the methodology of the Inverted Class or Flipped Classroom can be identified as an approach that offers numerous advantages, which addresses the identified problem. Likewise, the characteristics and steps to be followed in its implementation are defined.

Keywords: *Digital literacy, Higher education, Invested class, Educational technology, TIC.*

Resumo

Na necessidade urgente de fortalecer as habilidades de pensamento matemático e científico das ciências exatas e naturais nos estudantes da Universidade de Cundinamarca, trata-se de usar as Tecnologias de Informação e Comunicação de TIC, neste artigo espaço e tempo de ensino e aprendizagem, além de incentivar nos alunos o entusiasmo por aprender as ciências básicas. Assim, faz-se necessária uma revisão conceitual sobre as diretrizes que, na tecnologia educacional, como a proposição de uma proposta pedagógica, em uma loja, nas necessidades da formação profissional, fundamentada em uma formação básica adequada. Como resultado, a metodologia da *classe invertida* ou da sala de *aula invertida* pode ser identificada como uma abordagem que oferece inúmeras vantagens, que aborda o problema identificado. Da mesma forma, as características e etapas a serem seguidas em sua implementação são definidas.

Palavras-chave: *alfabetização digital, classe de investimento, ensino superior, tecnologia educacional, TIC.*

1. Introducción

El creciente desarrollo tecnológico que se ha generado en los últimos veinte años, específicamente en el área de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) (Simon, 1996) ha permitido pasar de una época en la cual el acceso a la información era costosa y difícil a una época en la que es relativamente fácil el acceso a un bajo costo.

Esta situación ha impactado de manera significativa el proceso educativo, ya que ha abierto la posibilidad de acceso a recursos como bibliotecas, laboratorios, mapas online, revistas, páginas web especializadas y otros, así como también el enfoque del aprender ha pasado de únicamente del recordar información para “saber”, a poder encontrarla y utilizarla de manera efectiva (Simon, 1996).

Por otra parte, en esta transformación se ha generado un nuevo reto para los docentes, el cual es construir un pensamiento científico ayudados con la tecnología; particularmente en la enseñanza de las ciencias básicas tradicionalmente se destaca la transmisión de contenidos por parte de los docentes y la recepción pasiva de los estudiantes, modelo basado en la teoría conductista, la cual hoy en día se considera fuera de uso no solo en las ciencias sino en la mayoría de las disciplinas.

El proceso de enseñanza-aprendizaje en la actualidad es visto desde la perspectiva constructivista, en la cual el estudiante es un sujeto activo que utiliza diversas herramientas para crecer en su proceso. Es así como las nuevas tecnologías, el uso de la computadora y el Internet, se convierten en herramientas definitivas para ese proceso de descubrimiento y construcción de conocimiento, acercando a los estudiantes a la ciencia contextualizada, y en muchos casos con representaciones que difícilmente en el aula se pueden lograr como la realidad virtual presente en muchos de los recursos existentes en la red.

Con estos elementos se puede decir que las TIC como herramientas facilitan el proceso constructivista del aprendizaje, y en ningún caso sustituyen el ejercicio del buen pedagogo.

2. Tecnología Educativa

2.1. Origen y antecedentes

Aunque se considera que la *tecnología educativa* tiene sus orígenes en los sofistas y el arte rupestre y que se desprende de la psicología y las ciencias de la educación (Saettler, 1968), el término empezó a circular después de la Segunda Guerra Mundial, asociado a la necesidad de preparar a las tropas estadounidenses a través de recursos audiovisuales más eficientes. Se le considera como un campo de estudio que se sustenta en disciplinas como: las teorías de aprendizaje, la teoría curricular, la teoría de la comunicación y la teoría de sistemas (Heredia & Escamilla, 2009). Algunos de los aportes de estas teorías se encuentran en la figura 1: (Stenhouse, 1981) (Durkheim, 2006) (Educativa, 2000)

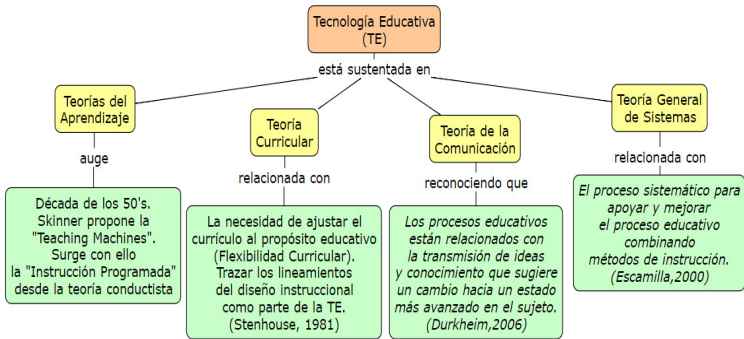


Figura 1. Cuadro sobre la influencia de las teorías en el origen de la Tecnología Educativa.

Según Lumnsdaine (1964), los antecedentes de la *tecnología educativa* se hacen evidentes en la década de los años sesenta, debido a tres factores que se congregan hacia esta época:

1. El interés en los años cincuenta por las formas individuales de aprendizaje y la formación militar a través de recursos basados en la autoenseñanza.
2. El auge de las teorías de la educación que tiene como máximo exponente a Skinner.
3. La producción de dispositivos tecnológicos.

2.2. Definición

Es de resaltar que la propuesta presente se enmarca en el diseño de una estrategia pedagógica apoyada en el uso de recursos tecnológicos y didácticos que potencien habilidades en los estudiantes. Es aquí donde cobra especial relevancia la *tecnología educativa*, que aunque puede cambiar su definición según el autor, hay algo en lo que varios de ellos convergen y es que está directamente ligada a la didáctica y a la manera de llevar el conocimiento científico a la escuela, a través de técnicas de comunicación acordes con el contexto social y cultural.

Se comparten aquí las palabras de la maestra Soledad Jiménez (1997) en un intento por definir la *tecnología educativa* en el documento *¿Qué es tecnología educativa?: autores y significados*:

La Tecnología Educativa la entiendo como el estudio de los medios y de su utilización en los procesos de enseñanza. Desde un uso práctico, permiten reflexionar junto con los alumnos sobre la interacción didáctica que se da en el aula; y también desde un uso crítico permiten modificar las situaciones susceptibles de mejora.

Desde la teoría general de sistemas, propuesta por Von Bertalanffy (1976), la concepción de la *tecnología educativa* formulada por Heredia y Escamilla (2000) está orientada a “Apoyar y mejorar el proceso educativo al combinar los métodos de instrucción, basados en alguna teoría de aprendizaje, así como los medios de comunicación naturales y aquellos basados en tecnología”.

2.3. Agentes transformadores en la tecnología educativa

La *tecnología educativa* en su más amplia expresión involucra a los distintos actores en el proceso educativo. Así, se debe tener en cuenta al docente como eje rector en los procesos de mediación e innovación educativa, quien se ha de caracterizar por su capacidad para adaptar las herramientas y tendencias disponibles en el entorno, a las necesidades propias de formación del estudiante.

Sin embargo, no es el docente un actor solitario en este escenario, tiene un papel muy importante en las políticas institucionales y gubernamentales, y en la puesta en marcha de lineamientos que propendan por garantizar la disponibilidad de la infraestructura, los medios y la capacitación de todos los entes involucrados en la búsqueda de la calidad educativa que, por supuesto, solo es posible lograrla si van de la mano las prácticas educativas con el desarrollo científico y tecnológico.

También entran a escena los centros educativos. Los responsables de apropiar un currículo que atienda a las necesidades de formación de los estudiantes, enmarcadas en el verdadero compromiso de conducir transformaciones reales y de fondo, no solo actuales sino visionando las tendencias futuras. Hoy en día no es posible concebir una institución educativa aislada y enajenada de metodologías que integran la utilización de las TIC en los procesos de enseñanza-aprendizaje y aún en sus procesos administrativos y logísticos. Debe corresponder a los lineamientos trazados por una *sociedad digital* (Telefónica, 2016).

Por último y no menos importante, el estudiante quiere ser el actor principal. Es quien define la eficiencia de los procesos y quien finalmente evidencia si los propósitos trazados han sido cumplidos. Se espera que la inserción de metodologías mediadas por tecnologías emergentes fomenten estudiantes con una mayor capacidad crítica frente a su proceso y se empoderen de este, en la medida en que ahora han sido deshechas las barreras de la comunicación global abriendo la posibilidad de interactuar no solo con sus compañeros de escuela sino con estudiantes de todo el planeta.

2.4. Líneas actuales y perspectivas

Existe un inquietante reto para la *tecnología educativa* desde su concepción y es encontrar la manera de estar a la vanguardia en la misma proporción y dinámica en la que surgen nuevos conocimientos científicos y desarrollos tecnológicos, porque no podemos dejar de reconocer con cierta melancolía que los paradigmas que han promovido cambios en los sistemas educativos van unos cuantos pasos atrás de las exigencias competitivas de los sistemas económicos, sociales, comerciales y aún cognitivos, así como de la era digital.

En palabras de Area M. (2012) de la Universidad de la Laguna:

La calidad del aprendizaje no depende de la tecnología empleada. No es el recurso sino lo que organiza el profesor con ese medio, es la forma en la que se comunican estudiantes y profesores lo que impacta en cómo aprenden los estudiantes.

En este sentido, desde los años noventa se han venido consolidando modelos educativos que coadyuvan procesos efectivos de inserción de TIC en la educación. A continuación se enuncian las corrientes más sobresalientes:

- **E-learning (Online learning):** obedece a los procesos de enseñanza virtuales en los cuales no hay comunicación física entre docente y estudiante. *Está soportada en los recursos web y sin duda alguna no se concibe el e-learning sin la existencia del internet* (Aiello & Willem, 2004).
- **B-learning (blended learning):** relacionado con el *aprendizaje combinado*, en el cual se articulan las actividades de aula con el uso de TIC. Está muy asociado a la modalidad semipresencial, sin embargo no es exclusivo. Se considera dentro de las modalidades del *e-learning* (Aiello & Willem, 2004).
- **M-learning (mobile learning):** es considerado actualmente como la tendencia de la educación, en la medida en que está apoyada en recursos móviles de tercera generación como teléfonos celulares, *tablets*, PC, para acceder a re-

cursos educativos, adelantar actividades de trabajo colaborativo, consultar o construir información, entre otros (Santiago, Trbaldo, Kamijo, & Fernández, 2015).

- **F-learning (flipped learning):** reconocida por centrar el proceso educativo en el estudiante, involucra el uso de TIC para invertir la metodología *tradicional* en la cual el docente dominaba el discurso para adelanatr procesos fuera del aula y direccionar procesos que potencien la práctica de conocimientos en el aula (Bergmann & Sams, 2012). La propuesta que se plantea en el presente trabajo se traza sobre los lineamientos establecidos por este enfoque.

Cabe mencionar que comúnmente las estrategias aplicadas en los procesos educativos extraen características de más de una corriente a la vez, para integrar metodologías innovadoras y cada vez más dinámicas, ajustadas a los distintos ritmos y reconociendo capacidades de aprendizaje individuales.

Otro aspecto relevante está relacionado con la *alfabetización digital*. Los entes reguladores de los sistemas educativos en distintos países reconocen la necesidad de enseñar en la escuelas la manera de usar eficientemente los recursos TIC, así como el desarrollo de competencias para la decodificación e interpretación de la información sea *impresa, audiovisual o digital*. Esto ha llevado a que se vinculen en los currículos contenidos relacionados con *competencias digitales* (Area, Manuel, Gutiérrez, & Vidal, 2012).

2.5. Tecnología educativa en la educación superior

Debido al auge de las nuevas tecnologías, se ha podido observar una incorporación de estas en la vida social de la población, convirtiéndose en un elemento que influye de alguna manera en la cultura. Las TIC se han involucrado en muchas de las áreas del desempeño humano y específicamente en el área del conocimiento han permeado la docencia, investigación y gestión educativa.

Es así como en la educación superior las TIC han crecido de forma importante, lo cual se puede observar a través de la oferta

educativa en educación superior mediada con TIC, que ha permitido que grandes segmentos de población puedan acceder a la educación superior en sitios donde era totalmente imposible. Así mismo, para los centros educativos también ha sido beneficioso el hecho de conseguir más estudiantes sin necesidad de tener mayor infraestructura.

Las preguntas que surgen son: ¿Se cuenta en el país con la infraestructura adecuada para brindar educación de calidad con medios virtuales? ¿Los docentes estamos preparados para una cultura educativa mediada por la tecnología? ¿Los usuarios (estudiantes) cuentan con los recursos necesarios para acceder a este tipo de educación?

Teniendo en cuenta estos elementos, también se puede decir que las tecnologías han abierto posibilidades de mejorar las estrategias de enseñanza tradicional a las cuales estábamos acostumbrados tanto los docentes como los estudiantes, utilizando un sinnúmero de recursos existentes que permiten mejorar la didáctica del proceso.

Existen ventajas que se ven particularmente en la educación superior como lo son facilitar el aprendizaje individual y el trabajo colaborativo, el fomento y la conformación de grupos de investigación multidisciplinarios y el fortalecimiento de la autonomía académica, rompiendo con las barreras geográficas y temporales, la integración de recursos para el aprendizaje en diversos formatos y, lo más importante, que contribuyen a que el estudiante desarrolle competencias definitivas frente a los retos que el mundo actual demanda.

2.6. Tecnología educativa en las ciencias exactas

El proceso de enseñanza aprendizaje de las ciencias básicas es complejo por los conceptos y desarrollos involucrados en cada área, por esta razón en los últimos años se ha visto un esfuerzo por parte de entes gubernamentales y demás actores por incluir la tecnología como herramienta de apoyo a la enseñanza. Sin embargo, debemos tener en cuenta que cuando se habla de integrar

TIC en los procesos no es solo utilizar un computador o proyecto en clase. Es convertirla realmente en una herramienta para los docentes y un medio de aprendizaje para el estudiante.

Las TIC pueden ayudar en dos direcciones en el proceso. Una es como aplicación práctica en la cual se promueve el uso, para mostrar al estudiante, como tradicionalmente ocurre, el uso de presentaciones, de *applets* y demás recursos multimedia, que le permitan comprender mejor los conceptos o la explicación de fenómenos de manera más didáctica. También se puede anotar la utilización de laboratorios virtuales que recrean la realidad por medio de simulaciones.

Otro enfoque tiene que ver con el proceso constructivo, en el cual el estudiante crea, investiga y hace un proceso de aprendizaje basado en resolución de problemas o construcción de significados. Esta construcción se hace con *software* especializado que permita crear e innovar en cada disciplina abriendo la posibilidad al estudiante de recrear la realidad y aprender de manera significativa.

En cuanto al *software* que se puede tomar como herramienta para desarrollar el proceso de enseñanza-aprendizaje, se tiene a Geogebra, que presenta un potencial muy alto frente a la enseñanza y también al aprendizaje de la matemática. En el mismo sentido, las herramientas Tracker para física, Python y Excel para modelación y métodos numéricos, ya que con estos programas los estudiantes pueden hacer construcción de conocimiento y no solo aplicación.

3. Resultados

Como resultado del proceso de revisión bibliográfica se definieron los lineamientos para la programación y puesta en práctica de la metodología *Flipped Classroom*, definiendo así la estructura del aula virtual, ya que a partir de estos criterios se definen preguntas importantes como son: ¿Cómo se van a desarrollar las competencias? ¿Cuáles son las temáticas que se van a desarrollar? ¿Cómo se van a lograr los objetivos de aprendizaje? ¿Qué

actividades responden a las metas perseguidas?, además de los tiempos en los cuales se concreta el proceso y, por último: ¿Cómo se define el proceso evaluativo?

Como se observa en la figura 2, los lineamientos fueron trazados desde seis fases de desarrollo de la metodología:

1. Programación.
2. Preparación de material.
3. Seguimiento a las actividades.
4. Diseño de las sesiones de clase.
5. Resolución de dudas.
6. Actividades de consolidación.

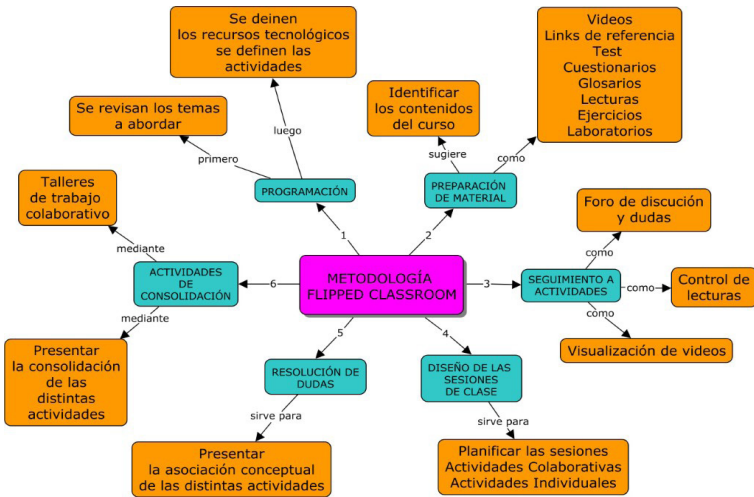


Figura 2. Lineamientos estratégicos para la aplicación de la metodología *Flipped Classroom*.

Fuente: elaboración propia.

Teniendo como punto de partida los lineamientos definidos, se delimitó la estructura particular de cada unidad temática, la cual se puede ver en la figura 3:

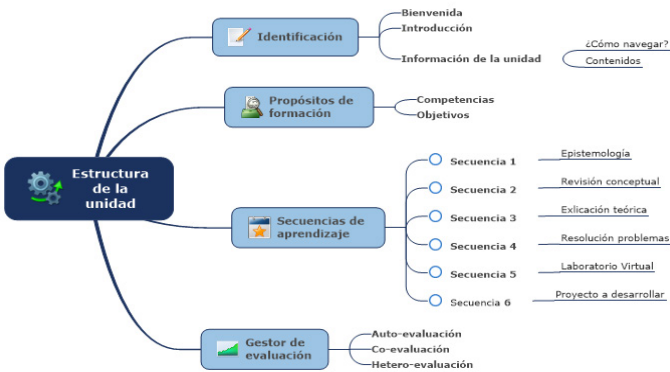


Figura 3. Estructura de las unidades temáticas desde la metodología *Flipped Classroom*.

La estructura de cada una de las unidades temáticas se diseñó teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

1. *Identificación*: allí el estudiante encuentra una *Bienvenida* a la unidad, en la cual se le explica cuáles son los contenidos por tratar a través de una breve introducción. De igual manera, en cada unidad encuentra la *Información de la Unidad*, en la que se le indica su estructura y el listado de contenidos.
2. *Propósitos de formación*: se enlistan los *objetivos* de la unidad y las *competencias* en concordancia con las competencias Tuning para Latinoamérica, correspondientes con el contenido por desarrollar.
3. *Secuencias de aprendizaje*: se desarrolla el contenido de la unidad teniendo en cuenta inicialmente un *contenido epistemológico*, luego se incluye un glosario para la *revisión conceptual* inicial, se muestran videos tutoriales de producción propia para *explicación teórica*, se proponen talleres de refuerzo (*resolución de problemas*) y finalmente se plantea un laboratorio para la unidad temática.

4. *Gestor de evaluación*: se plantea un formato de *autoevaluación* y *coevaluación* por cada unidad en concordancia con los lineamientos trazados por la Universidad de Cundinamarca. De igual manera, se pueden ver las calificaciones en el aula virtual obtenidas del trabajo desarrollado, que hacen parte de la *heteroevaluación*.

4. Conclusiones

Es de suma importancia la actualización constante y la necesidad de explorar tendencias de enseñanza apoyadas en las tecnologías emergentes en la educación. Por ello, actualmente se ha conformado un grupo de investigación que tiene como propósito involucrar Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la enseñanza de las ciencias de manera efectiva, en la cual se pretende encontrar modos eficientes de uso de estos recursos sin que los procesos algorítmicos y de razonamiento sean sustituidos por las herramientas tecnológicas, sino, por el contrario, potencien habilidades de desarrollo del pensamiento matemático y científico.

El proceso de enseñanza-aprendizaje es complejo y no estandarizado, por esta razón todas las herramientas que ayuden a innovarlo y a darle dinámica son válidas, en la medida en que faciliten al estudiante llevar el conocimiento de las ciencias naturales y exactas, de lo abstracto a lo concreto. Así, el ejercicio de revisión conceptual y los lineamientos definidos para la puesta en marcha de la estrategia *Flipped Classroom* fue fundamental para llevar a cabo una aplicación previamente planeada y estructurada.

5. Referencias bibliográficas

Adell, J., y Castañeda, L. (2012). Tecnologías emergentes. ¿Pedagogías emergentes? En J. Hernández, M. Pennesi, D. Sobrino y A. Vázquez (coord.). *Tendencias emergentes en educación con TIC*. Barcelona: Asociación Espiral, Educación y Tecnología. pp. 13-32.

- Aiello, M., & Willem, C. (2004). El blended learning como práctica transformadora. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 0(23), 21-26. Recuperado de <https://recyt.fecyt.es/index.php/pixel/article/view/61238>
- Area Moreira, M. [sjtjcs]. (8 de junio de 2012). *Qué es la tecnología educativa* [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=LsDVERCW2Xw>
- Area, M., Gutiérrez, A., y Vidal, F. (2012). *Alfabetización digital y competencias informacionales*. Madrid: Planeta y Fundación Telefónica.
- Bergmann, J., y Sams, A. (2012). Before You Flip, Consider This. *Phi Delta Kappan*, 94(2), 25-25. <https://doi.org/10.1177/003172171209400206>
- Durkheim, É. (2006). *Educación y Sociología*. Barcelona: Península.
- Escamilla De los Santos, J. G. (2000). *Selección y uso de tecnología educativa*. México: Trillas.
- García-Vera, A. B., y Alba Pastor, C. (1997). ¿Que tecnología educativa?: autores y significados. *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, (9), 51-62.
- Hamdam, N., McKnight, P. E., McKnight, K., y Arfstrom, K. M. (2014). *The Four Pillars of F-L-I-P*. Recuperado de <https://flippedlearning.org/definition-of-flipped-learning/>
- Heredia, Y., y Escamilla De los Santos, J. G. (2009). *Perspectivas de la tecnología educativa*. México: e-libro, Corp.
- Kline, M. (1999). *El pensamiento matemático de la Antigüedad hasta nuestros días*. Madrid: Alianza.
- Lesniak, R. J. (1968). Saettler, Paul. A History of Instructional Technology. *Journal of Teacher Education*, 19(4), 509-510. <https://doi.org/10.1177/002248716801900421>
- López, A. (2015). *Invirtiendo el aula: de la enseñanza tradicional al modelo Flipped-Mastery Classroom* (Tesis de Maestría, Universidad de Valladolid, Valladolid, España). Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/15224/TFM-G523.pdf;jsessionid=776FD687E9BD73057E-39CCC36FC85FF4?sequence=1>

- Lumsdaine, A. A. (1964). *Educational technology, programmed learning and instructional. Theories of learning and instruction*. 63rd Yearbook of NSSE.
- Proyecto The Flipped Classroom. (2013). *The Flipped Classroom*. Recuperado de <https://www.theflippedclassroom.es/quienes-somos/>
- Santiago, R., Trabeldo, S., Kamijo, M., y Fernández, Á. (2015). *Mobile Learning. Nuevas realidades en el aula*. (Innovación Educativa) Digital-Text. Editorial Océano.
- Simon, H. (1996). *Observations on the Sciences of Science Learning. Paper prepared for the Committee on Developments in the Sciences of Science Learning: An interdisciplinary discussion*. Department of Psychology, Carnegie Mellon University.
- Stenhouse, L. (1981). *Investigación y desarrollo del currículum*. Londres: Heinemann Educational Books.
- Telefónica, F. (2016). *Prepara tu escuela para la sociedad digital*. España: Fundación Telefónica.
- Tourón, J., y Campión, R. (2015). El modelo Flipped Learning y el desarrollo del talento en la escuela. *Revista de Educación*, N.º Extra 368, 174-195.

Detección de plagio en código fuente Java mediante tokenización y aprendizaje de máquina

Plagiarism detection on Java Source code using tokenization and machine learning

Detecção de plágio no código-fonte Java através de tokenização e aprendizado de máquina

Misael Fernando Perilla Beníte

Docente de tiempo completo del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cundinamarca extensión Chía.

mperilla@ucundinamarca.edu.co.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0235-0499>

Resumen

En este documento se resume el trabajo final realizado sobre el desarrollo de un sistema para la detección de plagio en código fuente del lenguaje Java, mediante el uso de herramientas de *software* basadas en aprendizaje de máquina aplicado a la situación presente en la entrega de programas plagiados de la Internet o entre pares, en alumnos de las asignaturas de programación de la Universidad de Cundinamarca extensión Chía, siendo el plagio un tema de estudio actual y que continúa en pleno auge, realizando un aporte a una problemática creciente en las instituciones de educación superior, en las cuales se enseña u orienta en áreas de programación y desarrollo de *software*, así como la utilidad de temas como compiladores, léxico, gramática y semántica propios de estos, lo cual permite una aproximación teórico-práctica al problema.

Palabras clave: *aprendizaje, código fuente, plagio, tokenización.*

Abstract

This document summarizes the final work carried out on the development of a system for plagiarism detection in Java source code, with the use of software tools based on machine learning and applied to the present situation of plagiarized programs student's presentations, software obtained from Internet or between peers, situation presented on students of the programming courses of the Universidad de Cundinamarca extension Chía, being plagiarism a current topic of study and that continues in upswing, doing a contribution to the growing problem in higher education institutions, where it is taught or oriented in areas of programming and software development, as well as the usefulness of topics such as compilers, lexicon, grammar and semantics in programming languages, allowing a theoretical and practical approach to the problem.

Keywords: *Code learning, Plagiarism, Source, Tokenization.*

Resumo

Este documento resume o trabalho final realizado no desenvolvimento de um sistema para a detecção de plágio no código fonte Java, através do uso de ferramentas de software baseadas em aprendizado de máquina e aplicado à situação atual de apresentação de programas plagiados da Internet ou entre pares, em alunos das disciplinas de programação da Universidade de Cundinamarca extensão Chía, sendo plágio um tema atual de estudo e que continua em pleno andamento, contribuindo para um crescente problema em instituições de ensino superior, onde é ensinado ou orientado em áreas de programação e desenvolvimento de software, bem como a utilidade de tópicos como compiladores, léxico, gramática e semântica em linguagens de programação, permitindo uma abordagem teórica e prática do problema.

Palavras chave: *Aprendizado, Código fonte, Plágio, Tokenização.*

1. Introducción

En la actualidad, el plagio es un problema que se presenta en muchos campos del quehacer humano, incluyendo la academia y la ciencia, y es en estos ámbitos en los cuales se presenta un incremento de casos de plagio, específicamente en los trabajos de alumnos y personal pertenecientes a algún nivel de educación superior (Eret y Ok, 2014), específicamente al incremento del acceso a Internet y la disponibilidad de sitios donde el código fuente está disponible de manera libre y gratuita, o en el caso de científicos que plagian a sus colegas e incluso casos de autoplagio

(Berquist, 2013), sin tener en cuenta las implicaciones éticas y legales que este tipo de infracción conlleva, lo cual implica tener que llevar los casos hasta las instancias más elevadas, pues no hay justificación válida para la atribución del trabajo de otros como propio, y menos cabida existe en un ambiente de búsqueda del conocimiento como es el ámbito educativo (Shahabuddin, 2009).

Se han tratado de crear mecanismos para la prevención y concientización sobre el plagio mediante campañas, cursos y apoyo de personal externo a los equipos de investigadores o alumnos (Gunnarsson, Kulesza y Pettersson, 2014), pero es un hecho que esta problemática sigue presente, por lo cual se han creado un conjunto de herramientas y técnicas basadas en *software* para la detección de plagio en código fuente, que incluye el uso de algoritmos generados como respuesta a esta problemática, y más recientemente se han planteado el uso de sistemas basados en inteligencia artificial para tener una solución más aproximada a la revisión que puede hacer un par evaluador humano.

2. Estado del arte

2.1. Problemática del plagio

El plagio lo define Durán (2016) como

El uso indebido o sin autorización de un recurso creado por una persona u organización, para hacerlo pasar como propio por un tercero, y es una problemática que se ha presentado en todos los ámbitos del ser humano, como el cultural, comercial, científico y educativo.

En el caso del desarrollo de *software* el plagio también está presente, cuando grupos de desarrolladores o estudiantes de carreras técnicas, tecnológicas y profesionales, dependiendo de las circunstancias, recurren a copiar código de terceros y presentarlo como propio ante sus respectivos supervisores o revisores. “Este fenómeno se ha visto incrementado con la masificación del acceso a Internet, donde dependiendo de la fuente, se tienen

estadísticas de entre el 30 % hasta el 126 % en casos de plagio” (Pérez, 2013) es capaz de aprender de un conjunto de documentos ejemplo las características necesarias, para poder realizar la separación de los documentos con plagio de aquellos que se encuentran libres de plagio. El segundo, permite reconocer los fragmentos de los documentos que no conservan el estilo de la mayoría del documento y que por tanto podrían considerarse como fragmentos sospechosos de plagio, para el cual usamos algoritmos de clustering. Los métodos aquí desarrollados, fueron evaluados empleando estándares fijados por la competencia internacional de detección de plagio (PAN). Para dar un ejemplo regional, en la Universidad de Cundinamarca extensión Chía, en el programa de Ingeniería de Sistemas en 2017 se reportaron cerca de 60 casos de plagio en asignaturas relacionadas con programación, mientras que en 2016 no se pasó de 10 casos, lo cual refleja el incremento en este tipo de eventos.

2.2. Investigaciones previas

El plagio al ser un tipo de incidente que se presenta en una variedad de actividades tan dispares como la escritura, el arte, la música y el desarrollo de software, por solo mencionar algunos ejemplos, se pueden encontrar casos en los cuales los métodos de plagio más representativos son ‘copiar y pegar’, parafrasear los contenidos de un autor, la traducción literal sin referenciación para ocultar la autoría hacia la fuente original y otros de mayor complejidad, como el plagio de estructuras e ideas (Gipp, 2014).

Para el presente proyecto, se tomaron en cuenta solo investigaciones que buscan identificar los casos de plagio que se pueden encontrar en el código fuente de un desarrollo de *software*, para los cuales ya existen una serie de técnicas y herramientas, pero al tratarse de un tipo particular de plagio, que puede involucrar el lenguaje, métodos, diseños e ideas de una persona (Agrawal y Sharma, 2016), se requiere de un conjunto de algoritmos y tecnologías específicas; con el avance de las tecnologías y el cambio/actualización de los sistemas computacionales y lenguajes de programación, se hace necesario adaptar estas herra-

mientas para la detección de plagio en estos nuevos entornos y necesidades.

Dentro de los proyectos que buscan dar una primer aproximación a las soluciones existentes en los PDS (*Plagiarism Detection Systems* - Sistemas de Detección de Plagio), se encuentra el trabajo de (Gondaliya, 2014) en el cual se hace una recopilación de las diferentes herramientas que se utilizan para la detección de plagio hasta la fecha de publicación, haciendo énfasis en los métodos y las técnicas que cada uno de estos utilizan, adicionalmente realizando una recopilación de los trabajos más destacados de diferentes investigadores en el campo de interés (detección de plagio en código fuente), resumiendo el trabajo y resultados de cada uno.

En esta recopilación aparecen métodos que también son mencionados o utilizados en trabajos posteriores, como LSA (Análisis Semántico Latente) y Tokenization, que es uno de los métodos usados para el procesamiento de textos en búsqueda de plagio (originalmente para lenguaje natural), como el caso desarrollado por (Sidorov et al., 2016) para detectar plagio en programas hechos con el lenguaje Karel. Esta investigación se basó en el uso de LSA integrado con dos diferentes herramientas, la primera basada en Naive-Bayes y la segunda en SVM (*Support Vector Machine*), ambas técnicas para clasificación en el Aprendizaje de Máquina.

Existen muchos trabajos más relacionados con el uso de tecnologías basadas en sistemas inteligentes, que es la propuesta de este proyecto, como el trabajo desarrollado por (Bandara y Wijayrathna, 2012), en el cual los autores enfatizan en que los métodos *tradicionales* de detección de plagio, al poseer una naturaleza basada en estructuras (estáticos), y a causa de este mismo tipo de funcionamiento, se ven como una opción no siempre fiable y acertada para la detección de plagio, que en muchos casos resulta complejo, planteando como una solución más factible generar una herramienta tipo *software* basada en la vecindad de los elementos (*k-Nearers Neighbor* - *k-NN*) y clasificación basada en Naive-Bayes, tomando como los valores de entrada los generados por ANTLR 4 para alimentar el sistema.

El trabajo desarrollado por (Sahu, 2016) plantea el uso de *Machine Learning*, específicamente el uso de kNN (*k-Nearest Neighbor*), como técnica de detección de plagio, en la cual no solo se busca identificar patrones dentro de la vecindad sino también comparar cadenas de caracteres y contar las variables, los métodos y otros elementos del código que se repiten en un código codificado en un lenguaje de programación (Tokenización). Aunque en los ejemplos de prueba de este autor es común encontrar el uso de cadenas de caracteres muy cortas en texto plano (usando Lenguaje Natural), mas no se aplica a ningún lenguaje de máquina, pero como (Sidorov et al., 2016) indicaron anteriormente, el código fuente puede ser tratado de la misma manera que un texto en lenguaje natural, haciendo este trabajo relevante para el proyecto presentado en el presente documento.

Otros trabajos abordan el tema desde un enfoque diferente, como el desarrollado por (Yasaswi, Purini y Jawahar, 2017), quienes proponen el uso de redes neuronales recurrentes a un nivel de caracteres (a diferencia de otros proyectos que se basan en las cadenas de texto o tokens), tomando como base los fundamentos de redes neuronales profundas, que son frecuentemente utilizadas en visión artificial, como un método para la detección de plagio en código fuente, funcional a nivel sintáctico, tratando de cubrir el plagio desde una escala inferior a la utilizada por la mayoría de sistemas de detección de plagio, que usan la vecindad de expresiones y su interacción, y tratando de aproximarse más al procesamiento del lenguaje natural.

En la búsqueda de información fue frecuente encontrar el uso de SVM para la detección de plagio, como en el trabajo de (Pellin, 2000), quien utiliza un sistema de aprendizaje de máquina basado en el modelo de clasificación SVM (*Support Vector Machine*), alimentado por el AST (*Abstract Syntactic Tree* - Árboles de sintaxis abstracta) generado desde un código fuente determinado para establecer su autoría. El propósito de esta investigación es identificar al autor de un programa de un conjunto previamente limitado (grupo base de entrenamiento), pero puede ser extrapolado a la detección de plagio. El autor indica que es posible tomar la identificación de la autoría como un problema de clasificación y

que puede ser resuelto desde las técnicas de *Machine Learning* estáticas.

Finalmente, se encuentran trabajos que proponen un sistema híbrido, en el cual el aprendizaje de máquina se implemente conjuntamente con herramientas tradicionales, como la propuesta de (Alsallal, 2016), quien en su tesis aborda el análisis de código en búsqueda de dos tipos de plagio (extrínseco e intrínseco), tomando como base técnicas como LSA (*Latent Semantic Analysis* - Análisis Semántico Latente), BOW (Bag of Words - Bolsa de Palabras), Estilometría y SVM (Máquinas de Soporte Vectorial), para alimentar un algoritmo de decisión basado en Bayes, haciendo un aporte en la necesidad de mezclar los algoritmos tradicionales con las técnicas de aprendizaje de máquina, para tener una herramienta más rápida.

3. Problemática del proyecto

Dentro de los trabajos entregados por alumnos de asignaturas de programación, específicamente en los trabajos de Programación II de la Universidad de Cundinamarca extensión Chía, se encuentran casos de plagio, los cuales no solo representan una de las situaciones con mayor incremento que pueden presentarse dentro de una institución de educación superior.

Autores como (Eret y Ok, 2014) señalan que el incremento en los casos de plagio presentados en instituciones puede deberse a diferentes factores como los culturales, institucionales-contextuales y factores personales; otros investigadores como (Subroto y Selamat, 2014) señalan que el acceso a Internet y el creciente número de archivos y programa colgados en la red, son un medio más asequible para los alumnos e incrementa las posibilidades de que se cometa plagio.

Con la llegada de más alumnos al programa de Ingeniería de Sistemas de la extensión Chía, y a falta de un filtro y políticas internas, se están presentando casos en los cuales existen grupos de programación que superan los 40 alumnos, lo que supone un reto para el docente, así como se presentan mayores problemas para

la evaluación y revisión de los entregables que los alumnos deben cumplir para recibir una buena retroalimentación.

Dentro de estos grupos masivos existe una minoría de alumnos que, por diferentes motivos, recurren al plagio de código fuente, tanto de la Internet como copian trabajos de otros compañeros, o recurriendo a pagar a otros alumnos para que realicen las actividades por ellos, por lo cual existen casos en los cuales varios alumnos que no se conocen, presentan trabajos muy similares, si no iguales.

Un docente frente a esta situación puede revisar proyecto por proyecto entregado, pero esta operación, en muchos casos manual, demanda mucho tiempo, lo que, sumado a las actividades de tipo no lectivo, puede emplearle usar tiempo programado para otras actividades en la revisión y evaluación de un trabajo. Por este motivo, junto con la recolección previa sobre el problema del plagio a nivel mundial en instituciones de educación superior, muestran que una herramienta del tipo *software* permitiría descubrir casos de plagio, en tiempos mucho más rápidos que mediante la revisión manual.

4. Metodología

En el desarrollo de este proyecto se siguió la siguiente metodología:

Se inició con el análisis del código fuente en lenguaje Java, para la selección de los atributos que se usarán para el entrenamiento del sistema de aprendizaje de máquina, teniendo en cuenta que el código por analizar solo debe tener la sintaxis de Java. El uso de código embebido de otros lenguajes puede interferir con el proceso: se usaron 30 proyectos de alumnos originales y 30 más previamente etiquetados como plagiados, para un total de 60 muestras.

Para la tokenización del código y las características de este, usando la gramática más actualizada disponible de Java 8, este proceso se realizó mediante la implementación de ANTLR 4.7.1,

junto con la generación y adaptación del Lexer y Parser. Posteriormente se utilizó una librería de aprendizaje de máquina para el análisis y la clasificación de los proyectos y su detección de plagio. De acuerdo con la investigación previamente realizada, se planteó utilizar *Support Vector Machine*, y en este campo se ha seleccionado la librería Weka, que puede ser implementada en proyectos Java, al ser desarrollada en este mismo lenguaje y existir una cantidad de documentación sobre el uso de sus múltiples capacidades.

Finalmente, se analizaron las características obtenidas con ANTLR en Weka de los códigos de entrenamiento, para la determinación de un potencial plagio, con la generación de un corpus y un modelo basado en el algoritmo SMO (*Sequential Minimal Optimization*) como entradas del sistema basado en SVM.

5. Alcance y limitaciones

Autores como (Zevin y Holzem, 2017) proponen que para el desarrollo de un sistema de aprendizaje de máquina basado en clasificación de código, se tengan en cuenta cinco criterios, los cuales son descritos a continuación:

1. *Precisión*: hace referencia a que un código puede hacer un proceso y dar un resultado de diferentes maneras, en el cual una misma lógica puede variar dependiendo de las diferencias de estilo de un lenguaje a otro, por lo cual es importante determinar las características por examinar. También es importante tener claro que una precisión exacta es imposible de obtener.
2. *Soporte a lenguajes de programación populares*: enfocarse en los lenguajes con mayor demanda, puesto que existen incontables lenguajes, pero generar un sistema de detección de plagio orientado a un lenguaje cuyo nicho es reducido, reduce su efectividad.
3. *Extensibilidad en un tiempo razonable*: es importante tomar lenguajes de programación que ya hayan superado su tiempo de popularidad y tengan una demanda estable.

4. *Independencia de la extensión en archivos*: al existir opciones como StackOverflow o GitHub, en las cuales se pueden encontrar fracciones de código, el uso de extensiones (.c, .java, .m, etc.), se hace innecesario, así como la extensión de un archivo puede ser considerado como ambiguo frente a su contenido (p. e.: código HTML y JavaScript dentro de un archivo de PHP).
5. *Desempeño*: la solución debe tener en cuenta que debe dar un resultado en un tiempo menor al de un juez humano, así como también considerar el consumo de recursos, y se debe tener presente que estos no deben sobrepasar de manera significativa los recursos a los que se tiene acceso.

En este proyecto se intentó cumplir con estos criterios, lo cual significó una limitante, la cual es que la precisión y el desempeño del sistema desarrollado, presentándose como principal problema el origen y la presentación de los archivos, y los altos requisitos que puede tener el uso de los clasificadores de aprendizaje de máquina para su entrenamiento, por lo cual se delimitó el uso de los archivos de la siguiente forma:

- Se realizará el análisis a los archivos .java (código fuente) por la facilidad de lectura que estos archivos poseen.
- El lenguaje de los archivos debe ser Java SE 8, puesto que es el usado en la mayoría de las asignaturas de programación de la Universidad de Cundinamarca.
- Se debe tener en cuenta que los archivos por analizar solo deben tener código Java, por lo cual archivos que posean embebido código diferente (como archivos en los cuales se realizan conexiones a SQL o código HTML usado para la presentación en SWING) no deben ser usados.

6. Objetivos

Como objetivo general se plateó desarrollar un *software* basado en aprendizaje de máquina para la detección de código plagiado sobre lenguaje Java.

En cuanto a los objetivos específicos se tiene:

- Identificar las variables que se usarán en la detección de plagio dentro de código fuente Java.
- Diseñar un *software* con entrada de código fuente y análisis léxico y sintáctico para el entrenamiento y funcionamiento del sistema.
- Evaluar el rendimiento del sistema desarrollado y los resultados arrojados por este.

7. Desarrollo

Para el desarrollo del *software* se recurrió al *IDE Netbeans 8.2* y el lenguaje de programación Java, junto con el *JDK 1.8-152*. Para la tokenización del código fuente que se recibe como entrada se usó *ANTLR 4.7.1*, se decidió adicionalmente llevar un registro, que además también funciona como base de conocimiento para la generación del *dataset*, con una base de datos en *SQLite3* y una librería de conexión *sqlite-jdbc-3.16.1*, esto para utilizar un sistema de base de datos que no dependa de un puerto del sistema, además de no tener que ejecutarse como un servicio por consumir, lo que optimiza los recursos de cómputo.

Para el aprendizaje de máquina se recurrió a *Weka 3.8.3*, la cual es una librería que posee variados algoritmos de *machine learning* y minería de datos (Machine Learning Group, 2018), además de poseer un método directo para ser conectado a *Netbeans* y el lenguaje Java.

Se desarrolló un entorno gráfico para el manejo del aplicativo, así como realizar diferentes validaciones de cara al usuario, tal como se observa en la figura 1.

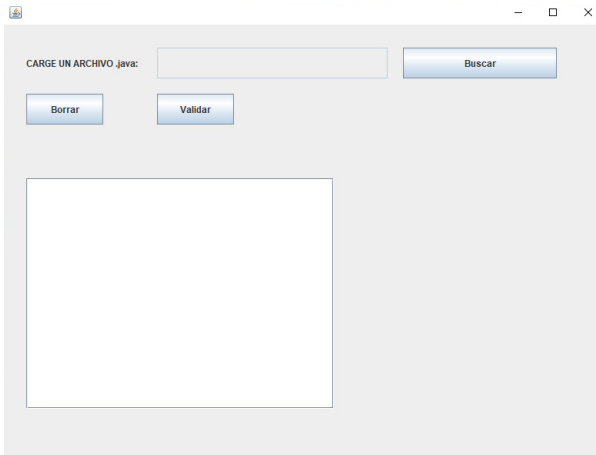


Figura 1. Ventana de usuario del aplicativo desarrollado en este proyecto, en la cual se selecciona el archivo con extensión .java que se desea validar.

Para la tokenización del código de entrada, se descargó la gramática de Java 8 desde un repositorio de gramáticas en GitHub (Parr y Harwell, 2014), el cual fue procesado por ANTLR 4 para la generación del Lexer y el Parser.

A screenshot of a Windows command prompt window titled 'Símbolo del sistema'. The window shows the following commands and their outputs:
1. Command: `C:\Users\Gabel>C:\Users\Gabel\Documents\NetBeansProjects\TALP_Final\src\talp_final`
Output: `"C:\Users\Gabel\Documents\NetBeansProjects\TALP_Final\src\talp_final" no se reconoce como un comando interno o externo, programa o archivo por lotes ejecutable.`
2. Command: `C:\Users\Gabel>cd C:\Users\Gabel\Documents\NetBeansProjects\TALP_Final\src\talp_final`
Output: `El sistema no puede encontrar la ruta especificada.`
3. Command: `C:\Users\Gabel>cd C:\Users\Gabel\Documents\NetBeansProjects\TALP_Final\src\talp_final`
4. Command: `C:\Users\Gabel\Documents\NetBeansProjects\TALP_Final\src\talp_final>antlr4 Java8.g4`

Figura 2. Generación de Lexer y Parser con ANTLR4, los cuales son fundamentales para la definición de los tokens.

Una vez generados los archivos anteriormente mencionados, se procedió a realizar una serie de pruebas y análisis léxico y sintáctico a diferentes códigos, así como verificar qué tipo de información sería útil para el análisis de la información, y posterior determinación de si el código sufre de plagio o, por lo contrario, si es original o no plagiado.

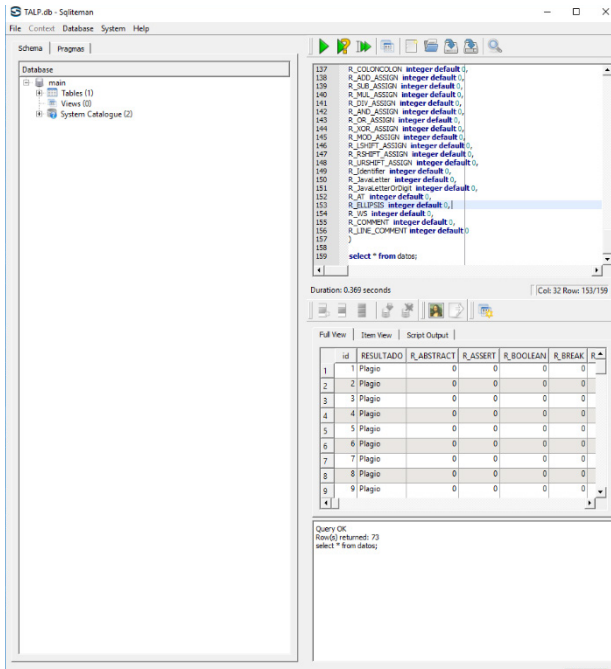


Figura 3. Atributos extraídos de los tokens obtenidos del código fuente analizado y almacenados en SQLite.

Después de analizar una serie de datos, se determinó que una de las maneras con la cual se podría verificar el plagio es realizando una medición de los tipos y la cantidad de tokens que el vocabulario de Java permite. De esta manera, si la persona que realizó el plagio cambia de orden las instrucciones, modifica los nombres de archivos o variables, mientras trate de mantener el funcionamiento y la estructura general, la cantidad de tokens usados será

la misma o muy cercana a la de otros proyectos previamente usados y presentados, tal como se observa en el siguiente fragmento de código.

```

public class TokenIterator {
    ArrayList<Object> Listado;
    String TOKENS[];
    int repeticiones[];
    //-----
    public TokenIterator(String datos, String TOK[]) {
        TOKENS = TOK;
        repeticiones = new int[TOKENS.length];
        System.out.println("-----DATOS EN TOKENIZA-
        DOR-----" + "\n" + datos);
        Listado = new ArrayList<Object>();
        String temp;
        try {
            CharStream stream = new ANTLRInputStream(new ByteArrayInput-
            Stream(datos.getBytes()));
            Java8Lexer lexer = new Java8Lexer(stream);
            for (Token token = lexer.nextToken(); token.getType() != Token.EOF;
            token = lexer.nextToken()) {
                temp = Java8Lexer.VOCABULARY.getSymbolicName(token.get-
                Type());
                if (temp != null || !temp.equals("null")) {
                    Listado.add(temp);
                }
            }
        } catch (IOException e) {
            System.out.println("Error en el Iterator: " + e);
        }
    }
}

```

Una vez que el código es analizado por el programa, se genera un nuevo registro en la base de datos, con el propósito de llevar un registro de los códigos generados y la posibilidad de usar es-

tos nuevos datos posteriormente, en un reentrenamiento del sistema.

Desde el mismo programa es posible generar un archivo sencillo separado por comas (CSV) para hacer una copia directa de los datos existentes en la base de datos, esto para que Weka los pueda reconocer y de esta manera generar los archivos que el algoritmo de aprendizaje de máquina pueda ser entrenado y clasificar.

El archivo CSV se puede integrar con Java o directamente ser usado desde el gestor gráfico que Posee Weka 3. Se procedió a generar el *dataset* desde Weka tal como se muestra en la figura 4 con el archivo de texto plano, en buena parte a la facilidad que muestra el entorno gráfico propio de esta librería con el usuario.

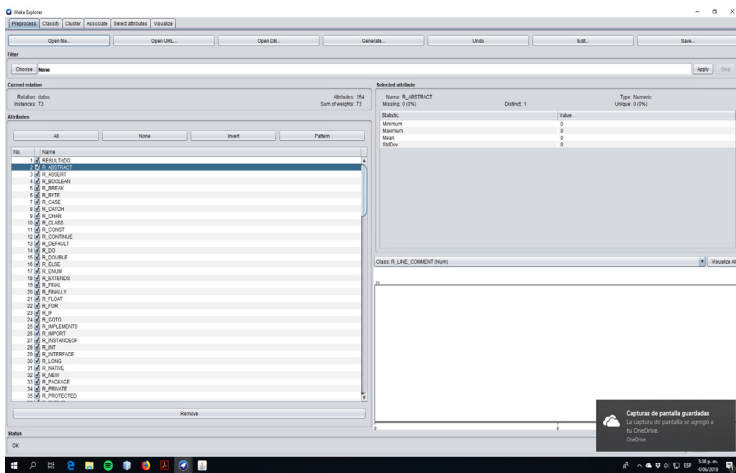


Figura 4. Gestión de *dataset* desde Weka.

Desde Weka se generaron dos archivos que son necesarios para el funcionamiento del sistema, que son el *corpus* y el *modelo*; el corpus es un archivo de texto plano que contiene la relación entre los atributos y los datos existentes, que Weka interpreta para la clasificación, y que debe tener una extensión de archivo ARFF o AXRR (Hamoud y Atwell, 2016) created for data mining with Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA).

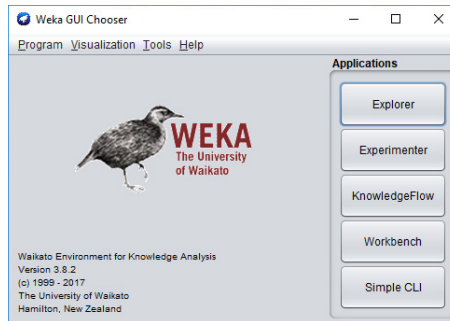


Figura 5. Interfaz inicial de Weka 3, librería de aprendizaje automático usada para el análisis de los tokens y detectar plagio en el código fuente.

Para el modelo se usa una clase generadora desde el *software*, pues este modelo debe ser del tipo SMO (*Sequential Minimal Optimization*) (Shao, Wu y Liao, 2013) a new technique for the selection of working set in sequential minimal optimization- (SMO-, el cual se basa en un algoritmo de reducción de dimensiones para SVM (*Support Vector Machines*), resolviendo el problema de las ecuaciones lineales presente. SVM es el algoritmo utilizado en este proyecto, tomando como base la literatura consultada, en la cual muchos de los proyectos de detección de plagio se basan en este sistema de aprendizaje de máquina. Más específicamente se está usando un LS-SVM (*Least Squares Support Vector Machine*), debido a que el algoritmo original requiere la solución de un problema cuadrático, lo cual no es necesario en este proyecto, además de permitir una reducción en el consumo de recursos computacionales.

A continuación, se muestra el *código fuente del generador de Modelo SMO, usado en el analizador* para optimizar su funcionamiento.

```
public class WekaModelo {
    private final Classifier Classifier = new SMO();
    private final Instances train;
    public WekaModelo(String rutaCorpus) throws Exception{
```

```
File archivocorpus = new File(rutaCorpus);
rutaCorpus = archivocorpus.getAbsolutePath();
train = ConverterUtils.DataSource.read(rutaCorpus);
train.setClassIndex(153);
}
public void generarModelo(String rutaDestino) {
File archivocorpus = new File(rutaDestino);
rutaDestino = archivocorpus.getAbsolutePath();
try {
if (train.numInstances() == 0) {
throw new Exception("No classifier available");
}
weka.core.SerializationHelper.write(rutaDestino, Classifier);
} catch (Exception io) {
System.out.println("Error en la creación del modelo: " + io.getMessage());
}
}
}
```

8. Resultados

Se logró consultar el código Java de cualquier proyecto, obteniendo el número de tokens y determinando que los atributos por analizar son 153, los cuales son extraídos y almacenados en una base de datos para la generación del *dataset*, el *modelo* y el *corpus* necesarios para el funcionamiento del sistema.

```

1 @relation datos
2
3 @attribute R_ABSTRACT numeric
4 @attribute R_ASSERT numeric
5 @attribute R_BOOLEAN numeric
6 @attribute R_BREAK numeric
7 @attribute R_BYTE numeric
8 @attribute R_CASE numeric
9 @attribute R_CATCH numeric
10 @attribute R_CHAR numeric
11 @attribute R_CLASS numeric
12 @attribute R_CONST numeric
13 @attribute R_CONTINUE numeric
14 @attribute R_DEFAULT numeric
15 @attribute R_DO numeric
16 @attribute R_DOUBLE numeric
17 @attribute R_ELSE numeric
18 @attribute R_ENUM numeric
19 @attribute R_EXTENDS numeric
20 @attribute R_FINAL numeric
21 @attribute R_FINALLY numeric
22 @attribute R_FLOAT numeric
23 @attribute R_FOR numeric
24 @attribute R_IF numeric
25 @attribute R_GOTO numeric
26 @attribute R_IMPLEMENTED numeric
27 @attribute R_IMPORT numeric
28 @attribute R_INSTANCEOF numeric
29 @attribute R_INT numeric
30 @attribute R_INTERFACE numeric
31 @attribute R_LONG numeric
32 @attribute R_NATIVE numeric
33 @attribute R_NEW numeric
34 @attribute R_PACKAGE numeric
35 @attribute R_PRIVATE numeric

```

Figura 6. Parte del corpus para la generación del modelo con el que se entrena el sistema de aprendizaje automático, generado a partir de los tokens desde Weka.

La herramienta desarrollada es de fácil uso y realiza las operaciones de manera rápida, gracias a la optimización que supone el uso de SMO, en el cual el entrenamiento y la generación del modelo tardó 1,64 segundos. Al realizar las pruebas correspondientes de este sistema sobre un conjunto de 60 archivos .java, se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 1. Resultados del análisis de códigos fuente de prueba con la herramienta desarrollada.

	Número total de archivos	Número de archivos plagiados detectados
Códigos plagiados	30	19
Códigos originales	30	0

Fuente: elaboración propia.

De las muestras ingresadas, se logró identificar posteriormente un 63,33 % de los casos de plagio. Este número no es considerablemente alto, pero se puede explicar desde la cantidad de ejemplos usados en el entrenamiento (60 ejemplos, 30 originales y 30 plagiados), lo que indica que para que el sistema funcione de una manera más precisa, se requiere de una cantidad mucho mayor de códigos para el entrenamiento de la máquina.

9. Trabajo futuro

Se tiene planeado continuar con el desarrollo de esta herramienta, mejorando no solo la extensión del lenguaje Java usado, sino también ampliándolo a otros lenguajes usados en la Universidad de Cundinamarca (C# y Matlab), para que se tome como una herramienta de apoyo a los docentes de la institución y como apoyo al proceso de investigación y de acreditación de alta calidad que esta afronta en la actualidad.

También se tiene planeado extender el alcance del proyecto a la identificación de plagio para permitir el análisis de código adicional que puede estar dentro de proyectos de Java o .net, como SQL, HTML y CSS, y la generación de un *dataset* mucho mayor, para aumentar la precisión del sistema, usando casos de todas las seccionales de la Universidad de Cundinamarca y de otras instituciones.

10. Conclusiones

Los atributos elegidos solo aplican para Java sin código adicional, que puede estar incrustado en este, por lo cual, si existe código de consulta tipo SQL o etiquetas HTML, estas son tomadas como identificadores, por lo que aumentar la cantidad de este código puede modificar la lectura real de identificadores en un proyecto.

El uso de aprendizaje de máquina permite el apoyo a la toma de decisiones, así como a la automatización de procesos dispendiosos y repetitivos, como es la verificación de plagio en un código

fuente. Una vez realizado el código de análisis y extracción de los atributos, se pudieron verificar más de 30 archivos Java en el tiempo que un docente puede hacerlo para dos archivos (partiendo de un tiempo de 10 minutos).

El manejo de las librerías como ANTLR y Weka facilita muchos procesos, por lo cual es importante profundizar en estas y las posibilidades que ofrecen en el campo de la revisión de código fuente.

El análisis que se puede hacer sobre el código fuente de un proyecto no solo puede indicar si una aplicación funciona o no como se espera, también puede ser usada para determinar si un código posee errores antes de ser ejecutado, si implementa buenas prácticas y si utiliza muchos recursos del lenguaje para su funcionamiento, mediante la extracción de los atributos y su análisis.

11. Referencias bibliográficas

- Agrawal, M., y Sharma, D. K. (2016). A state of art on source code plagiarism detection. En *2016 2nd International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT)* (pp. 236-241). IEEE. <https://doi.org/10.1109/NGCT.2016.7877421>
- Alsallal, M. (2016). *A machine learning approach for plagiarism detection*. (Unpublished Ph. D. Thesis). Coventry: Coventry University.
- Bandara, U., y Wijayathna, G. (2012). Detection of Source Code Plagiarism Using Machine Learning Approach. *Int J Comput Theory Eng*, 4(5), 674.
- Berquist, T. H. (2013). Self-plagiarism: A growing problem in biomedical publication! *American Journal of Roentgenology*, 200(2), 237. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.10327>
- Esra, E., y Ahmet, O. (2014). Internet plagiarism in higher education: tendencies, triggering factors and reasons among teacher candidates. *Assessment and Evaluation in Higher Education*, 39(8), 1002-1016. <https://doi.org/10.1080/02602938.2014.880776>

- Gipp, B. (2014). *Citation-based plagiarism detection: detecting disguised and cross-language plagiarism using citation pattern analysis*. Alemania: Springer Vieweg.
- Gondaliya, T., Joshi, H., y Joshi, H. (2014). Source code plagiarism detection SCPDet: a review. *International Journal of Computer Applications*, (105), 27-31. doi: 10.5120/18471-9897.
- Gunnarsson, J., Kulesza, W. J., y Pettersson, A. (2014). Teaching international students how to avoid plagiarism: librarians and faculty in collaboration. *The Journal of Academic Librarianship*, 40(3-4), 413-417. <https://doi.org/10.1016/j.aca-lib.2014.04.006>
- Hamoud, B., y Atwell, E. (2016). *Quran question and answer corpus for data mining with WEKA*. Conference of Basic Sciences and Engineering Studies (SGCAC), Khartoum, 211-216. <https://doi.org/10.1109/SGCAC.2016.7458032>
- Machine Learning Group. (2018). *Weka 3 - Data mining with open source machine learning software in Java*. Recuperado de <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>
- Parr, T., y Harwell, S. (2014). *grammars-v4/Java8.g4 at master · antlr/grammars-v4 · GitHub*. Recuperado de <https://github.com/antlr/grammars-v4/blob/master/java8/Java8.g4>
- Pellin, B. N. (2000). *Using classification techniques to determine source code authorship*. Estados Unidos: University of Wisconsin, Computer Sciences Department. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.111.9198yrep=rep1ytype=pdf>
- Pérez Afonso, J. (2013). *Detección intrínseca de plagio*. (Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Valencia, España).
- Posadas Durán, J. P. F. (2016). *Detección automática de plagio usando información sintáctica*. (Tesis doctoral, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México). Recuperado de <http://148.204.63.111/SABERv3/Repositorios/webVerArchivo/26111/3>
- Sahu, M. (2016). Plagiarism detection using artificial intelligence technique in multiple files. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 5(4), 111-114. Recuperado de <https://www.ijstr.org/final-print/apr2016/Plagiarism-Detection-using-Artificial-Intelligence-Technique-in-Multiple-Files.pdf>

tection-Using-Artificial-Intelligence-Technique-In-Multiple-Files.pdf

- Shahabuddin, S. (2009). Plagiarism in academia. *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education*, 21(3), 353-359. Recuperado de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ909069.pdf>
- Shao, X., Wu, K., y Liao, B. (2013). Single directional SMO algorithm for least squares support vector machines. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2013(Article ID 968438), 7 pages. <https://doi.org/10.1155/2013/968438>
- Sidorov, G., Ibarra-Romero, M., Markov, I., Guzmán-Cabrera, R., Chanona-Hernández, L., y Velásquez, F. (2016). Detección automática de similitud entre programas del lenguaje de programación Karel basada en técnicas de procesamiento de lenguaje natural. *Computacion y Sistemas*, 20(2), 279-288. <https://doi.org/10.13053/CyS-20-2-2369>
- Subroto, I. M. I., y Selamat, A. (2014). Plagiarism detection through Internet using Hybrid Artificial Neural Network and Support Vectors Machine. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 12(1), 209. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v12i1.648>
- Yasaswi, J., Purini, S., y Jawahar, C. V. (2017). *Plagiarism detection in programming assignments using deep features*. Recuperado de https://cvit.iiit.ac.in/images/ConferencePapers/2017/Plag-Detection_DeepFeatures17.pdf
- Zevin, S., y Holzem, C. (2017). Machine learning based source code classification using syntax oriented features. Recuperado de <https://arxiv.org/pdf/1703.07638.pdf>

Aproximación experimental al concepto de derivada

Experimental approach to the concept of derivative

Abordagem experimental do conceito de derivado

Luz Jaddy Castañeda Rodríguez

Docente de la Universidad de Cundinamarca -
Facultad de Ingeniería, Área de Ciencias Básicas, Facatativá (Colombia).
ljcastaneda@ucundinamarca.edu.co.
ORCID: 0000-0002-6970-9144.

Resumen

Se presenta la propuesta y los resultados de la aplicación piloto de una estrategia de enseñanza- aprendizaje de la derivada como razón de cambio, para el curso de Cálculo Diferencial de educación superior. La herramienta esencial es la modelación matemática, que tiene como propósito principal orientar el conocimiento matemático desde sus aplicaciones, manteniendo el rigor que merece el componente disciplinar. Se realizó un diagnóstico sobre los preconceptos requeridos para abordar el tema central para identificar el nivel de conocimiento sobre modelación matemática. Luego, equipos de trabajo de tres estudiantes eligieron uno de dos modelos para ser resuelto de forma analítica y numérica, para posteriormente validarlo experimentalmente. Se estudiaron dos modelos más para la fase de descontextualización y finalmente se aplicó una prueba. Además de la aceptación por parte de los estudiantes, se evidenció una pequeña mejoría en su capacidad argumentativa.

Palabras clave: *ecuación diferencial, educación matemática, modelación matemática, razón de cambio, matemática contextual, Runge - Kutta.*

Abstract

The proposal and the results of the pilot application of a teaching-learning strategy of the derivative as a reason for change for the course of differential calculus of higher education is presented. The essential tool is mathematical modeling, whose main purpose is to guide mathematical knowledge from its applications, maintaining the rigor that the disciplinary component deserves. A diagnosis was made about the preconceptions required to address the central theme to identify the level of knowledge about mathematical modeling. Then, by work teams of three students, they chose one of two models to be solved analytically and numerically, to later validate it experimentally. Two more models were studied, for the decontextualization phase and finally a test was applied. In addition to the acceptance on the part of the students, a small improvement in their argumentative capacity was evidenced.

Keywords: *Contextual mathematics, Differential equation, Mathematical education, Mathematical modeling, Reason for change, Runge - Kutta.*

Resumo

Apresenta-se a proposta e os resultados da aplicação piloto de uma estratégia de ensino-aprendizagem da derivada como razão de mudança para o curso de cálculo diferencial do ensino superior. A ferramenta essencial é a modelagem matemática, cujo principal objetivo é guiar o conhecimento matemático de suas aplicações, mantendo o rigor que o componente disciplinar merece. Um diagnóstico foi feito sobre os preconceitos necessários para abordar o tema central para identificar o nível de conhecimento sobre modelagem matemática. Em seguida, por equipes de trabalho de três alunos, eles escolheram um dos dois modelos a serem resolvidos analítica e numericamente, para posteriormente validá-lo experimentalmente. Mais dois modelos foram estudados, para a fase de descontextualização e finalmente um teste foi aplicado. Além da aceitação por parte dos alunos, foi evidenciada uma pequena melhora em sua capacidade argumentativa.

Palavras-chave: *Equação diferencial, Educação matemática, Modelagem matemática, Razão da mudança, Matemática contextual, Runge - Kutta.*

1. Propuesta

Se orienta el proceso de conceptualización matemática en el estudiante, apoyado en el modelo pedagógico denominado *matemática contextual*. La Teoría de la Matemática en Contexto se desarrolla a través de ocho fases estratégicas, en función de dos ejes fundamentales: contextualizar y descontextualizar. Se apoya la estrategia en las fases planteadas por el modelo REMSI (Bravo, Castañeda, Hernández, & Hernández, 2016).

2. Aspectos epistemológicos

Como lo manifiesta Grabiner (Grabiner, 1983) frente al concepto de la derivada, le precedieron cronológicamente los siguientes sucesos: primero fue usada, luego fue descubierta, en seguida desarrollada y estudiada, para, finalmente, ser definida. Es así que inicialmente fue usada para resolver problemas que surgieron en ese momento de la historia. Esta manera de llegar al concepto de derivada tiene que ver igualmente con la forma como se desarrolla y consolida el conocimiento matemático a nivel cognitivo, lo que sugiere una posible ruta para orientar, particularmente, la conceptualización de la derivada en nuestros estudiantes.

Cabe reconocer entonces, algunos de los aportes de grandes personajes que contribuyeron a la conceptualización de la derivada como aquellos relacionados con la solución al problema del cálculo de rectas tangentes o normales a una curva en un punto. Fermat y Barrow plantean el método de las tangentes y Descartes propone su método para hallar la normal a una curva. En cuanto al problema de determinar la velocidad y la aceleración de un cuerpo si se conoce la distancia en función del tiempo, Newton define su método de fluxiones y Leibniz el método de diferenciales. Por otra parte, Cauchy y los infinitesimales, en la búsqueda y consolidación de la definición de la derivada.

El método de fluxiones de Newton, discípulo de Barrow, visualizaba la curva descrita por una función de forma dinámica. Es decir, era posible asociar cada punto de la función a la posición de

un objeto en movimiento. En esencia, esa curva permite evaluar el cambio de la posición con respecto al tiempo. Es precisamente este el enfoque que se quiere tomar como referente para abordar la derivada como razón de cambio.

Un suceso que le antecede, aproximadamente hacia el siglo XIV, ocurre cuando un grupo de filósofos y lógicos del Colegio de Merton, en Oxford, abordaron el problema de la variación, planteando inicialmente lo que hasta hoy se define como movimiento uniforme, para que fuera el referente al identificar el movimiento variable (Vidal Rojas, 2012).

Como se ha mencionado, Newton considera que las curvas son generadas por un punto en movimiento. Define en su método la fuente y fluxión, términos que, según Grattan (Grattan, 1984), representan la idea que tenía Newton de los valores variables con respecto al tiempo a los que estipulaba como cantidades fluyentes. Así, Newton descubrió que la rapidez de cambio de una función está directamente relacionada con la pendiente de la tangente a la curva, generándose sobre la función una nueva magnitud: la fluxión. Lo anterior dio origen al cálculo, lo cual es lo que en la actualidad denominamos derivada. En este contexto, Newton explicó el movimiento de los cuerpos. Dicha variación se da por el cambio de las variables (que podemos asociar a x e y) que definen a la curva, por ello las denominó fuentes.

En otro orden de ideas, para Newton el cambio entre las variables siempre era proporcional. Por lo tanto, si x e y son las variables que definen la función, la fluxión se expresará a partir de la razón entre la variación de estas, denotándola mediante un punto sobre cada una de las variables, definida por:

$$\frac{\dot{y}}{\dot{x}} \quad (1)$$

A simple vista, la razón denota su correspondencia con la pendiente de la recta tangente.

Historia y evolución de la modelación matemática

Es posible armar que uno de los periodos más fructíferos en la historia de las matemáticas fue durante los siglos XVI y XVII, “periodo en el que las relaciones entre las matemáticas y el entorno están en correspondencia” (Mesa & Villa, 2011). Se descubre así, que es posible leer a la naturaleza en lenguaje matemático.

Dando una mirada a las circunstancias que llevaron a los científicos de la época a interpretar su entorno de esa manera, desde la visión de Kline y Alonso (Kline & Alonso, 1999) obedece a los prejuicios teológicos de ese tiempo en los que se difundía que todo lo que acaecía en la naturaleza estaba relacionado con un ser supremo y, por lo tanto, todos los sucesos estaban interconectados. Esto los llevó a interpretar que la naturaleza obedece a unos principios generales, que admiten una visión global.

Galileo, reconociendo la supremacía de Dios, sugiere que es imposible entender el universo que está delante de nuestros ojos si no aprendemos su lenguaje y se encuentra escrito en lenguaje matemático. Esa manera de filosofar sobre el entorno generó un paradigma en la manera de hacer ciencia. Cabe resaltar que el principio de esta revolución científica no fue matematizar la ciencia. Por el contrario, fue un recurso necesario en la generación de conocimiento y explicación del entorno (Mesa & Villa, 2011). De hecho, Kline y Alonso (1999) manifiestan que, para comprender el espíritu de las matemáticas en esta época, se hace necesario entender el pensamiento de Descartes y Galileo. Descartes sustenta que la esencia de la ciencia son las matemáticas, idea compartida por Galileo, aunque para él el gran fundamento en la comprensión de la naturaleza es la experimentación. De tal forma, que esta le lleve a obtener expresiones matemáticas que dieran explicación a su experimento.

Como lo manifiesta Newman, se debe a Galileo y a su manera de interpretar la naturaleza, el hecho de cuantificar sus observaciones a través del planteamiento de experimentos que le permitieran responder cómo ocurren las cosas y no por qué ocurren.

Según Mesa y Villa (2011), Bassanezi afirma que la *modelación matemática es una abstracción de la realidad*. Ante ello, es Galileo su mejor exponente, ya que su método experimental permite generalizar, predecir y validar la realidad. Es esto lo que dio lugar al método científico.

Este tipo de recurso o de método es aprovechado en las aulas de clase para facilitar la interpretación de los principios que rigen a las ciencias. Aquí se encuentra la riqueza y la esencia de la presente propuesta, ya que siendo la matemática el conocimiento requerido para comprender el universo, se dinamiza el proceso de aprehensión en los estudiantes y cobran sentido los contenidos que se orientan desde el área de matemáticas.

3. Aspectos disciplinares

El interés de la presente propuesta es abordar el concepto de derivada desde su contextualización con otras ciencias (en el caso con física), vista esencialmente como una razón de cambio. No es un secreto que las leyes fundamentales de la física están sustentadas en observaciones empíricas que explican las variaciones de las cualidades físicas de la materia y los sistemas. La relación entre la variación de dichas cualidades, a menudo se describe a través de ecuaciones diferenciales.

Se pretende mediante el análisis de un modelo diferencial, razonar sobre el significado de la derivada como razón de cambio. Para ello, se requieren los siguientes conceptos y algoritmos matemáticos:

1. Definición de derivada como razón de cambio (revisión del método de fluxiones de Newton).
2. Métodos de solución numérica de derivadas: Euler y Runge Kutta (apoyados en *software*).
3. Fundamentos de ecuaciones diferenciales.
4. Series de Taylor.

4. Aspectos didácticos

Aunque la presente propuesta está dirigida a estudiantes de primeros cursos de educación superior, es pertinente acudir a los estándares curriculares y de igual manera a lineamientos curriculares de la Universidad de Cundinamarca. Se observa que la noción de variación, se empieza a inducir en el estudiante desde la edad preescolar. En general, los estándares curriculares plasman dos fases del pensamiento variacional, particularmente en lo que respecta a modelación:

Fase 1. Repetición de esquemas y situaciones cotidianas considerando las matemáticas como la ciencia de los patrones.

Fase 2: Modelización.

De igual manera, los lineamientos curriculares definidos en el Proyecto Educativo de Facultad (PEP) de la institución, sugiere, entre otras competencias, que el egresado de ingeniería: es creativo y competente en la resolución de problemas relacionados con esta disciplina en cualquier contexto de su quehacer profesional y está en condiciones de evolucionar y adaptarse rápidamente a cambios de la sociedad, la ciencia y la tecnología.

En este sentido, se propone como modelo didáctico la *matemática contextual* que le permite al estudiante abordar el conocimiento desde eventos que entrelazan las ciencias con la disciplina matemática y lo enfrenta a resolver problemas de su área de formación mediante la aplicación u obtención de modelos matemáticos.

5. Metodología

La investigación se desarrolla mediante un diseño experimental verdadero, sobre el que se define un grupo control, al cual se aplica la metodología convencional, y un grupo experimental al cual se aplica la estrategia pedagógica que se va a proponer y sobre el que se hacen observaciones permanentes. En el tratamiento

metodológico se describen a continuación las actividades por desarrollar para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos propuestos, así:

- Determinar conceptos previos de los estudiantes relativos al concepto y la interpretación de la derivada.
- Identificar aspectos conceptuales relacionados con el significado y la interpretación de la derivada como razón de cambio, pertinentes con la secuencia didáctica.
- Seleccionar y adecuar problemas y herramientas computacionales por utilizar en la secuencia.
- Estructurar la secuencia didáctica desde la modelización.
- Aplicar la secuencia didáctica y analizar resultados de implementación.

6. Conclusiones

Inicialmente se quería dar respuesta al interrogante: ¿Qué características debe tener una estrategia didáctica que aporte a la conceptualización de la derivada como razón de cambio a través de la modelización matemática? Al respecto, se puede deducir que:

- a. La estrategia debe tener en cuenta los conceptos previos de los estudiantes para direccionar el proceso de aprehensión del concepto, en función de lo que ya conoce fortaleciendo lo que le hace falta conocer o saber previamente al estudio del tema. Para el caso eran requeridos los conceptos de función, variable independiente, variable dependiente y parámetro, al igual que saber establecer relaciones entre estos últimos. Es decir, saber plantear una ecuación. Además, fundamentos básicos de física mecánica.
- b. Debe definir claramente los eventos por modelar, como los denomina Camarena (2006), de tal forma que no revisitan tal grado de simplicidad que no se logre abordar el con-

cepto de manera formal, pero que tampoco tenga tal grado de complejidad en concordancia con el nivel académico de los estudiantes. Así mismo, que abordar el evento o situación problema genere frustración y apatía frente al tema. Se eligieron así tres modelos para la fase de contextualización y uno para la fase de descontextualización, relativos a la verificación de principios físicos.

- c. Debe definir claramente las fases de modelación que deben escalar los estudiantes durante el análisis y la solución del evento propuesto, de tal forma que se tengan paralelamente criterios de evaluación claramente definidos. Para ello, se tomaron como referencia los criterios de evaluación planteados por el grupo de investigación Axioma de la Universidad de Cundinamarca, que se ajustan a las necesidades de la propuesta.

Los principales referentes tenidos en cuenta para el planteamiento de la presente propuesta fueron Newton con su *método de fluxiones*, que visualiza a la función como resultado de un punto en movimiento siendo las *fluentes* las variables involucradas, y a la *fluxión* o derivada como la razón de cambio de las *fluentes* sobre la curva, relacionándola con la pendiente de la recta tangente a la curva. Así mismo, otro invaluable referente es Galileo Galieli, quien sentó las bases del método científico y nos dejó el gran legado de poder leer el entorno en el lenguaje universal: la matemática. Y finalmente, en el aspecto didáctico cobra gran relevancia el modelo descrito por la doctora Camarena, al que denomina matemática en contexto, vista como el aprovechamiento de la visión de Galileo en la aprehensión del conocimiento de la naturaleza en el aula de clase.

Cabe resaltar que las herramientas tecnológicas y de *software* tuvieron un papel importante en la consecución de la propuesta. Se utilizó el analizador de video Tracker que facilita en gran medida la toma de datos experimentales y se usó Excel para hallar la solución numérica de cada modelo aplicando el método de Runge Kutta 4 y Python, para la fase de validación y contraste. De no contar con estos recursos, se invertiría más tiempo en el cálculo que en el análisis de resultados.

7. Referencias bibliográficas

- Bravo, A., Castañeda, L. J., Hernández, H. I., y Hernández, L. A. (2016). Enseñanza de las matemáticas en ingeniería: modelación matemática y matemática contextual. *Revista Educación en Ingeniería*, 11(21), 27-31. <https://doi.org/10.26507/rei.v11n21.601>
- Camarena, P. (2006). Un enfoque de las ciencias en contexto desde la didáctica. *Innovación educativa*, 6(31), 21-31.
- Grabner, J. (1983). The changing concept of change: the derivative from Fermat to Weierstrass. *Mathematics Magazine*, 56(4), 195-206. doi: 10.2307/2689807
- Grattan, G. I. (1984). *Del Cálculo a la Teoría de Conjuntos (1630-1910)*. Madrid: Alianza.
- Kline, M. (1999). *El pensamiento matemático de la Antigüedad a nuestros días*. Madrid: Alianza.
- Mesa, Y., y Villa-Ochoa, J. (2011). *Modelación matemática en la historia de las matemáticas. Una mirada al concepto de función cuadrática*. doi: 10.13140/RG.2.1.3942.0568.
- Vidal Rojas, Ó. E. (2012). *Interpretación de la noción de derivada como razón de cambio instantánea en contextos matemáticos*. (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá). Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/8725/1/osca-reduardovidalrojas.2012.pdf>

Impacto del nivel de formación y desarrollo profesional docente sobre la calidad del sistema educativo en Colombia

Impact of the level of training and professional teacher development on the quality of the educational system in Colombia

Impacto do nível de formação e desenvolvimento de professores profissionais na qualidade do sistema educacional na Colômbia

Javier Hernando Ruiz Farfán

Docente de la Universidad de Cundinamarca extensión Chía -
Facultad de Ingeniería.

Javier.ruiz.f@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1604-867X>

Resumen

Actualmente se denotan importantes rasgos que evidencian un sistema educativo debilitado, en el cual convergen diferentes aspectos; no obstante, es importante resaltar la intervención del docente como uno de los actores principales en el proceso. Por tanto, surge una cuestión que sin duda repercute en la calidad del sistema educativo: el nivel de formación docente y su desarrollo profesional. El sistema colombiano de formación de educadores y lineamientos de política, definido por el Ministerio de Educación Nacional de Colombia, precisa que la calidad educativa es el camino para la prosperidad. En este sentido es indispensable reconocer la formación del docen-

te como um fator vital, que demanda medidas conjuntas do Estado e demais entes encarregados, sobre a necessidade de implementar políticas e reformas educacionais que permitam a *formação de formadores*, como responsáveis de replicar o conhecimento na sociedade. Se aspira precisar aspectos claros sobre o impacto da formação docente na qualidade do sistema educacional, tendo em conta que hoje por hoje o mundo atravessa uma complexa situação em torno à cobertura do sistema educacional em diferentes ambientes, condições que podem ser mitigadas por los Estados, mediante aportes particulares al proceso formativo de posgrado de docentes en el país.

Palabras clave: *formación docente, reformas educativas, políticas educativas, calidad de la educación, sistema educativo.*

Abstract

At the moment, important features are evidenced that show a debilitated educational system, where different converge, but important to emphasize the intervention of the teacher as one of the main actors in the process. Therefore, an issue that undoubtedly has an impact on the quality of the education system: the level of teacher education and professional development. The Colombian system of training educators and policy guidelines, defined by the Ministry of National Education of the Republic of Colombia, states that educational quality is the way to prosperity, in this sense it is indispensable to recognize teacher training as a factor vital, which seeks joint measures by the state and other bodies in charge of the implementation of policies and educational reforms that allow the "training of trainers" as responsible for replicating knowledge in society. The objective of the aspiration is clear on the impact of teacher training on the quality of the education system, taking into account that today the world is going through a situation of the situation close to the coverage of the educational system in different environments, the conditions that can be mitigated by the States, through institutional contributions in the postgraduate training process of teachers in the country.

Keywords: *Educational policies, Educational reforms, Educational system, Quality of education, Teacher training.*

Resumo

No momento, denotam-se importantes características que mostram um sistema educacional enfraquecido, onde convergem diferentes aspectos, porém é importante destacar a intervenção do professor como um dos principais atores do processo. Portanto, surge uma questão que, sem dúvida, afeta a qualidade do sistema educacional: o nível de formação de professores e desenvolvimento profissional. O sistema colombiano de educação de educadores e diretrizes políticas, definido pelo Ministério da Educação Nacional da República da Colômbia, afirma que a qualidade educacional é o caminho para a prosperidade, neste sentido, é essencial reconhecer a formação de professores como um fator vital, que exige medidas conjuntas, do Estado, e outras agências encarregadas, sobre a necessidade de implementar políticas e reformas educacionais que permitam a "formação de formadores", como responsáveis por replicar o conhecimento na sociedade. Pretende-se esclarecer aspectos claros do

impacto da formação de professores sobre a qualidade do sistema educativo, tendo em conta que hoje o mundo vive uma situação complexa em torno da cobertura do sistema educativo em diferentes ambientes, condições que podem ser mitigadas pelo sistema educativo. Estados, através de contribuições privadas para o processo de formação de professores de pós-graduação no país.

Palavras-chave: *Formação docente, Políticas educacionais, Qualidade da educação, Reformas educacionais, Sistema educacional.*

1. Introducción

En el presente existe un fuerte interés por promover la consolidación de lazos con comunidades científicas nacionales e internacionales, mediante redes que motiven la investigación y el desarrollo en áreas interdisciplinarias en materia educativa. Este interés surge a partir del alto impacto que conlleva la formación de docentes más preparados y capacitados en su entorno, para transmitir las competencias necesarias en el aula a sus estudiantes, por lo que se valen de diferentes herramientas y métodos que propicien un entorno ameno y adecuado para la generación de conocimiento, además de procesos continuos de actualización docente. Lo anterior construido a través de la formación de posgrado de los docentes.

Dada esta condición es fundamental resaltar la importancia de las políticas públicas y reformas educativas que apoyen procesos de formación docente, como incentivos económicos y demás alternativas que generen mayores niveles de preparación en los docentes y como consecuencia obtener mejores resultados sobre el sistema educativo actual y sus demandas.

Los sistemas educativos alrededor del mundo presentan coyunturas muy similares alrededor de la calidad, bien sea en temas de acceso, cobertura, calidad, adquisición de las competencias, herramientas, medios y recursos, por mencionar algunas; no obstante, es de resaltar los diferentes planes y acciones encausados a mejorar dichas falencias, de manera que la educación, más allá de un derecho de cada ciudadano, sea un sistema vital para una comunidad.

En general la sociedad presenta una preocupación genuina en la calidad del sistema educativo, dado el impacto que esta representa en la sociedad, viéndola como un conjunto de engranes que operan de manera funcional; si uno de ellos falla, el sistema en su totalidad no opera. La educación repercute en aspectos políticos, sociales, económicos y culturales, entre otros, razón por la cual, el Estado define políticas en pro de mejorar la calidad en la educación, cualquiera que fuere su nivel: básica, media, técnica, profesional y posgradual. En este sentido, sobresalen otros aspectos, además del nivel de formación docente y su desarrollo profesional como las condiciones laborales a las cuales debe someterse, o las oportunidades de crecimiento en su entorno laboral correlacionado con su nivel de formación entre otros factores que determinan docentes desmotivados en su labor y a una carencia de profesionales. Esta situación presenta sin duda un círculo vicioso que será detallado en profundidad más adelante.

2. Marco teórico

Uno de los pilares más importantes a la hora de hablar de la calidad de la educación y el sistema educativo en general, refiere a la calidad de los docentes, lo que hace implícito el nivel de formación y demás capacitaciones que permitan generar las competencias necesarias para el desempeño óptimo de su labor docente. Según Imbernón (2009), lo anterior implica que no se debe desconocer la importancia de la capacitación en los docentes del país, como medio hacia la excelencia y herramienta para el fortalecimiento de las competencias docentes. No obstante, las políticas públicas y acciones tomadas por los gobiernos no corresponden de forma significativa al aporte que se requiere en el tema. A su vez, se denotan otros aspectos relevantes que confluyen en la calidad educativa, los cuales se describen en mayor detalle a continuación.

2.1. Políticas públicas

Uno de los aspectos más relevantes de la calidad educativa consiste en las diferentes reformas y políticas implementadas por el Estado, por lo cual se debe resaltar cómo convergen los cambios propios de las políticas implementadas por cada gobierno, los cuales no respetan los tiempos establecidos para la culminación de cada proceso por administraciones previas, situación problemática que ha llevado a instaurar incredulidad en el profesorado en temas de reformas y en general cambios asociados al entorno educativo. Al respecto, Herrera y Acevedo (2015) afirman que

Las diferentes reformas presentadas en Colombia, así como en Latinoamérica, en los últimos diez años, han sobrepasado particularmente por las preocupaciones de reajuste estructural en pro del cumplimiento de los compromisos de la deuda externa, que ha conducido a un modelo general basado en una eficiencia económica, tomando en cuenta una reorganización del sistema educativo.

Pese a lo anterior, no se debe desconocer el esfuerzo de cada gobierno por instaurar mediante el ajuste estructural, políticas de reorganización que atiendan al cambio constante de la economía mundial, teniendo en cuenta factores como la deuda externa, la concentración del capital, el incremento en los índices de desempleo, por mencionar algunas de ellas. Como lo define Aguerrondo (2003), formación docente, desafíos de la política educativa, detallando diversos factores que pueden repercutir en la calidad del sistema, sin desconocer los esfuerzos de los actores que intervienen en el proceso.

2.2. Condiciones laborales

En temas referentes a contratación es indispensable revisar la normativa vigente, pues las condiciones actuales laborales reclaman acciones inmediatas. De este modo para modificar las estrategias políticas es necesaria la articulación y generación de reglas, regulaciones y procedimientos RRP obsoletos, que se perpetúan en la práctica del sistema. Es importante que las RRP

se modifiquen, actualicen y supriman conforme pasa el tiempo, adaptándose a los nuevos retos que plantea la sociedad, dado que estas son cruciales para la definición de nuevas reformas educativas.

De igual manera, se requiere una política integral para el sector docente, además de la destinación de importantes recursos desde los altos mandos y una mayor participación en los procesos de reforma, como lo expone el Ministerio de Educación (2012) en su texto formación docente para la calidad educativa.

La implementación de nuevas reformas conlleva principalmente a que la percepción de los docentes sobre la implantación de estas y de políticas educativas, se manifiesten en una situación volátil, en la cual la incertidumbre de los profesionales se incrementa, así como un desconcierto por el cambio en las condiciones laborales, en las que ninguna de ellas se avista como positiva para un eficiente desempeño, hablando en términos de *calidad*.

Existe una normativa mínima aplicable a las relaciones laborales, referente a las prestaciones sociales definidas en mayor detalle en el Código Sustantivo del Trabajo (Ley 115 de 1994, artículo 196), además de las normas sobre escalafón docente, seguridad social, duración de contrato, escalafón, decreto de salarios, entre otras condiciones fundamentales, para determinar el contexto ideal, similar a como ocurre en otros países de Latinoamérica, establecido por el Instituto de Estudios Educativos y Sindicales de América (IEESA).

Pese a lo anterior, se debe resaltar la constitución de entes en pro de la defensa de los derechos de los educadores. Por citar un ejemplo, se resalta la labor de la Federación Colombiana de Educadores (Fecode), la cual vela por defender los derechos de los docentes ante el Estado, con el ánimo de acordar de forma mutua la solución a discrepancias existentes entre este y los maestros, dado el precario contexto actual de los docentes en el país, quienes han sido acogidos con normativas estatales como funcionarios del Gobierno y no como maestros colombianos.

2.3. Jerarquización laboral docente

La jerarquización laboral de los docentes resulta un aspecto trascendental a la hora de hablar de calidad del sistema educativo, dado que, pese al nivel de formación de los maestros, se otorgan oportunidades laborales diferentes, las cuales no siempre corresponden con las necesidades educativas del sistema. El Ministerio de Educación Nacional (2010) define en su Revolución Educativa qué es ser maestro hoy, el servicio de educar y el oficio docente.

Referente a los rasgos de la carrera docente, surgen varias situaciones como la jerarquía en los cargos, en la cual la cima de la pirámide representa un aislamiento de la academia, dado que se centra en cargos administrativos y funciones gerenciales, siendo esta la única forma de incrementar los ingresos significativamente. Lo anterior solo refleja una situación problemática en la docencia, pues sobresale la carencia de educadores que *enseñen a enseñar*.

En este orden de ideas, se implantan categorías en el desarrollo profesional docente, de modo que determinen diferentes responsabilidades, las cuales complejizan gradualmente la labor docente y a su vez implica comodidades salariales y condiciones estables de contratación. Pese a esto, Arnaut (2003) resalta en su escrito *Formación de maestros, continuidad, reforma y cambio*, la importancia de definir que el último nivel *experto* conlleva responsabilidades de alta índole, que no pueden ser desconocidas por la gestión institucional que en ocasiones resulta subvalorada dentro de una institución.

2.4. Formación posgradual de docentes

Resguardando la calidad en la formación profesional de quienes enseñan, es necesario tomar en cuenta el pregrado mediante una educación adecuada atendiendo las tendencias mundiales, así como una formación permanente o un proceso de actualización, sin mencionar una de las características más valiosas: atender las necesidades del medio.

En torno a la calidad docente, se hace preciso regresar la atención a la formación de estos, como un desafío de los gobiernos por mejorar la calidad de la educación básica y secundaria, bien sea de un orden público o privado, trabajando sobre nuevos modelos didácticos redefiniendo la labor de enseñar y, como consecuencia, incrementar la calidad en la formación a docentes, dado un creciente deterioro del sistema actual.

En tanto, el Programa de Formación Profesional de Docentes y Directivos Docentes (2014) en el marco de lo trazado en el Plan de Desarrollo 2010-2014, debe

Definir, gestionar e implementar acciones y proyectos que permitan fortalecer procesos formativos de los docentes y directivos docentes, para mejorar la calidad de la educación preescolar, básica y media. Promueve desde los subprocesos de formación inicial y continua la calidad y pertinencia de la formación complementaria, de pregrado y posgrado de docentes en las Facultades de Educación y en las Escuelas Normales Superiores.

La docencia es una tarea de responsabilidad social que requiere la intervención de actores preparados y comprometidos con la evolución de la sociedad mediante la implementación de reformas, que plantea sin duda nuevos retos de cómo cambiar la forma inicial y la escuela de forma simultánea, de modo que todo el sistema esté en capacidad de ser transformado. La situación anterior genera un representativo impacto en los primeros años de experiencia de los docentes, pues marca el inicio de su carrera de forma definitiva y puede ayudar a los esfuerzos por implementar las reformas o puede disolverlos.

2.5. Desarrollo profesional del docente

Los docentes deben adquirir o fortalecer múltiples competencias que le otorguen la capacidad de cumplir algunos objetivos específicos como aportar al desarrollo personal del estudiante, adquisición de competencias intelectuales, consolidación de saberes indispensables para comprender el mundo en que se desenvuelve, desarrollo de su identidad, formación como ciudadanos, pro-

mover el pensamiento crítico, la iniciativa, autodeterminación y por último, pero no menos importante, los valores para convivir en armonía y respeto con los demás.

El desarrollo profesional del maestro se apoya en primera instancia en reconocer la docencia como una profesión, pues el ejercicio de esta labor determina características muy específicas a otras profesiones, por lo cual se llega a desestimar esta importante labor. Para esto es fundamental tener en cuenta el nivel de preparación del docente interdisciplinar, además de una preparación específica, y siempre estar actualizados a nuevos conocimientos o reformas. Referente a esto, Imbernón (2009) afirma que el ascenso profesional docente, contemplado en un contexto social, debe ser fortalecido con la asimilación genérica de conocimientos objetivos, es decir la posesión formal del saber, para posteriormente asumir la capacidad de transmitirlo o enseñarlo. Dentro de dicho contexto social, la docencia no se cataloga como un oficio, sino como una *semiprofesión* que demerita al docente y su nivel de conocimiento dentro de la sociedad, con un nivel de información poco calificado, por lo que gradualmente se ha deteriorado el concepto del profesor.

Empero lo anterior, no desestima la importancia de fortalecer las competencias del docente, las cuales repercuten directamente en el desempeño laboral y, por ende, en las competencias desarrolladas por el estudiante en el aula de clase.

El artículo expuesto por Torres, Badillo, Valentín y Ramírez (2014) sostiene que hasta la década de 1990 los docentes se centraban básicamente en los procesos de enseñanza. La educación basada en las competencias profesionales cobró importancia al inicio de la década de 2000, como resultado de la transformación del conocimiento como motor de la economía y factor determinante de la competitividad de los mercados.

De igual forma, las competencias docentes desarrollan habilidades importantes que influyen en la sociedad de una manera directa o indirecta, pues del exitoso desempeño docente podremos gozar de espacios culturales, de investigación, estudiantes motivados, cultura ciudadana y organización laboral, entre otros

beneficios. En este sentido Asún y Zúñiga (2013) resaltan la repercusión de dichas competencias sobre la formación de los estudiantes, partiendo de las diferentes confluencias sociales y culturales que impactan directamente el sistema educativo.

2.6. Responsabilidad del Estado

Dada la tradición de las instituciones que no están acostumbradas a rendir cuentas a operadores externos que verifiquen su calidad, resultan complejas las intervenciones de orden político, las cuales se crearon específicamente para amparar la calidad en los profesionales egresados. Por esto, se definen estrategias como la generación de espacios para promover la calidad docente; es el caso de los concursos de proyectos o la convocatoria masiva de capacitación para formadores de formadores.

El Estado tiene la responsabilidad de garantizar la capacidad y las competencias de los docentes que ejercen en el país, de modo que responda de forma satisfactoria a las necesidades de la comunidad con un eficiente desempeño, teniendo en cuenta el detrimento de todas las instituciones educativas. Para dar respuesta a esta necesidad, se instauran mecanismos de acreditación a los cursos destinados a la educación profesional para docentes.

Por otro lado, países desarrollados indican un fuerte interés por fortalecer la calidad de la formación de formadores, mientras que otros países desatienden la educación, sin tomar en cuenta el pilar social que constituye dentro de una comunidad y su proceso evolutivo. Esto repercute de igual forma en la oferta de docentes de los distintos niveles de educación; por ejemplo, existe mayor oferta de cuerpo profesorado en niveles de educación básica (primaria) que docentes para formación profesional, según cifras del Ministerio de Educación (2014) en la Política de educación de formadores.

Se puede afirmar que uno de los indicadores de la calidad educativa es el acceso que tiene la comunidad a esta, sin importar ningún tipo de condición, pero, para ir más allá, se puede verificar la permanencia de los estudiantes y su culminación con éxito en su

academia. En Colombia este fenómeno cobró fuerza a principios de la década del 2000 pues existía la llamada *deserción escolar*, ante la cual el Gobierno implementó múltiples estrategias para que cada familia inscribiera en una institución educativa a los niños y adolescentes del país; no obstante, no estaban preparados para su deserción de las aulas, tras haber iniciado. Situación similar a la enfrentada por el Gobierno mexicano (Secretaría de Educación Pública, 2003), que dentro de sus políticas del Programa Nacional de Educación refiere la importancia de generar una educación con equidad y justicia haciendo alusión a la opción de cursar y concluir con éxito su formación.

2.7. Estrategias del Estado

Referente a las estrategias del Estado es importante abordar la ejecución de proyectos, los cuales presentan atractivas convocatorias sobre incentivos económicos, siempre y cuando cumplan con parámetros específicos. Su objetivo es fortalecer la calidad en la formación docente mediante estímulos financieros.

Para generar el fortalecimiento de las líneas de calidad educativa, el Estado procura la formación continua y permanente de los docentes en su actividad, por lo que enfocan todos los esfuerzos en transformar la formación y satisfacer las necesidades. Dada la situación precaria del sistema educativo actual, surge un interrogante: ¿cómo manejar la capacitación de los docentes para afrontar exitosamente su desarrollo profesional partiendo de su educación inicial y haciendo alusión a estudios de pregrado?

Otro aspecto por resaltar, como implicación de la implementación de estrategias para el mejoramiento de la calidad, corresponde a la coordinación de acciones sobre estrategias didácticas, de manera que el proceso formativo del docente incida positivamente en las competencias de los estudiantes para la enseñanza y el aprendizaje; todo lo anterior fomenta el desarrollo profesional de los educadores.

De este modo, la Dirección de Calidad para la Educación Preescolar, Básica y Media busca consolidar una estrategia mediante

una política de formación, la cual resalta la corresponsabilidad de los autores y las instancias relacionados con la educación de docentes del país. Este proceso se lleva a cabo de manera participativa con actores directamente relacionados con el sector educativo, plasmado mediante el sistema colombiano de formación de educadores y lineamientos de política. Al respecto, el Ministerio de Educación (2014) indica que

Las estrategias metodológicas de conformación de comunidades de diálogo y la participación de actores representativos del sector educativo, representaron un impacto positivo mediante el fortalecimiento de un ambiente de confianza por perspectivas de corresponsabilidad entre el Estado y la sociedad en la definición de políticas públicas sobre las distintas entidades vinculadas con la formación de los educadores de este país.

Lo anterior permite aclarar que si bien es cierto que el papel del docente en la calidad del sistema educativo es fundamental, la responsabilidad no recae explícitamente sobre él, pues dado un trabajo colaborativo se lograrán los objetivos; para ello es preciso clarificar la realidad y los desafíos que enfrenta el docente en su quehacer, como los rasgos que debe promover y, por supuesto, el fortalecimiento de sus competencias necesarias para suplir las necesidades de los estudiantes dentro del aula. Por consiguiente, se observa una situación que, aunque particular de Colombia, refleja el contexto de otros gobiernos, en los cuales existe un esfuerzo permanente por generar estrategias que mejoren procesos de formación docente y directivos, como es el caso de México, según lo advierte Arnaut (2003) al reconocer esta labor como uno de los caminos hacia la calidad del sistema educativo. Por tal razón, se fijan compromisos claves en el plan de desarrollo con metas a largo, corto y mediano plazo, que puedan satisfacer las metas propuestas.

2.8. Calidad del sistema educativo

Las problemáticas generadas alrededor de la calidad educativa se han venido combatiendo con el tiempo, mediante la definición de centros universitarios especializados para formar profesores,

como es el caso de las universidades pedagógicas. Sin embargo, se destacan conceptos divididos sobre en qué sector debe enfocarse el Gobierno, bien sea desde la educación secundaria, o la formación universitaria, llegando a una conclusión evidente: el objetivo final debe ser la formación sobre la excelencia académica, sea cual sea su orientación. En este sentido, Aguerrondo (2002) enfatiza sobre la importancia de establecer los ejes que permitan definir una calidad en el sistema educativo.

El Estado en su responsabilidad con la sociedad debe velar por la calidad educativa mediante circuitos de control en la formación de futuros docentes, aun más teniendo en cuenta que la expansión de los sistemas educativos reclama con mayor fuerza personal docente; por desgracia, no toda la oferta disponible cuenta con la calidad requerida, independiente de la formación de los profesores, si es universitaria o no.

3. Conclusiones

Se destaca el importante rol que desempeña el Gobierno como *gestor* de la educación, mediante la implementación de reformas y políticas educativas que medien la calidad en la formación de formadores, al satisfacer las necesidades propias de un entorno, teniendo en cuenta procesos de acreditación dentro de los programas académicos e instituciones, sin desconocer el importante desempeño del docente como actor de adaptación al cambio e inclusión de las mejoras con las reformas educativas.

Es necesario que el Gobierno implemente políticas públicas que faciliten el acceso a la educación superior de los docentes, para contar con profesionales mejor preparados, competentes y actualizados, con un excelente desempeño en el aula. Pues es importante recordar que, si contamos con docentes competentes, podremos educar estudiantes con excelentes competencias. De ahí nace la importancia de implementar reformas y políticas públicas que intervengan en el mejoramiento del sistema, cuya responsabilidad de calidad no debe recaer solamente sobre los docentes, sino debe empezar a tomarse como un proceso de

toma de decisión en conjunto con el Estado, secretarías de educación y, en general, todas las asociaciones del magisterio que mediante la experiencia docente puedan generar estrategias válidas y efectivas para el mejoramiento del sistema de formación docente.

El desarrollo profesional del maestro se apoya en primera instancia en reconocer la docencia como una profesión, pues el ejercicio de esta labor determina características muy específicas a otras profesiones, por lo cual se llega a desestimar esta relevante labor. Para esto es fundamental tener en cuenta el nivel de preparación del docente interdisciplinar, además de una preparación específica, la cual requiere de una permanente actualización.

Para finalizar, cabe destacar que en América Latina se cuenta con un alto riesgo en los procesos de calidad educativa, ya que pese a las propuestas del Estado por hacer de la educación un sistema de fácil acceso para la población, no se ve generado dicho beneficio.

4. Referencias bibliográficas

- Aguerrondo, I. (2001). *Decentralization of schools may be not enough (some reflections from "steering-from-below")*. IIEP/París. Forum on the Organization of Ministries of Education. México: Secretaría de Educación Pública (SEP).
- Aguerrondo, I. (2002). *La calidad de la educación: ejes para su definición y evaluación*. México: Secretaría de Educación Pública (SEP).
- Aguerrondo, I. (2003). *Formación docente: desafíos de la política educativa*. México: Secretaría de Educación Pública (SEP).
- Arnaut, A. (2003). *El sistema de formación de maestros en México. Continuidad, reforma y cambio*. México: Secretaría de Educación Pública (SEP).
- Andere M. E. (2005). Profundos cambios al sistema educativo. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 10(24), 276-281. Recuperado de <http://www.redalyc.org/comocitar.ou?id=14002417>

- Asún Inostroza, R., Zúñiga Rivas, C., y Ayala Reyes, M. C. (2013). La formación por competencias y los estudiantes: confluencias y divergencias en la construcción del docente ideal. *Calidad en la educación*, (38), 277-304. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-45652013000100008>
- Blanco, R., y Cusato, S. (2005). *Desigualdades educativas en América Latina: todos somos responsables*. Santiago de Chile: Unesco.
- Echeita, G. (2016). Inclusión y exclusión educativa. De nuevo, “voz y quebranto”. *REICE, Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 11(2). Recuperado de <https://revistas.uam.es/index.php/reice/article/view/2899/3115>
- García, C.A. (2011). *La calidad educativa y sus factores asociados*. Recuperado de <https://maestrociro.wordpress.com/2011/10/23/la-calidad-educativa-y-sus-factores-asociados/>
- Herrera, M., y Infante Acevedo, R. (2004). Las políticas públicas y su impacto en el sistema educativo colombiano. Una mirada desde los planes de desarrollo 1970-2002. *Nómadas (Col)*, (20), 76-84.
- Imbernón, F. (2009). *La profesión docente ante los desafíos del presente y del futuro*. España: Universidad de Barcelona.
- Instituto de Estudios Educativos y Sindicales de América (IEE-SA). (2012). ¿De dónde vienen y adónde van los maestros mexicanos? La formación docente en México, 1822-2012.
- Ministerio de Educación Nacional. (2005). *Ser maestro hoy. El servicio de educar y el oficio docente*. Altablero, (34).
- Ministerio de Educación Nacional. (2012). *Formación docente para la calidad educativa*. Recuperado de <http://www.mineduacion.gov.co/1759/w3-propertyvalue-48472.html>
- Ministerio de Educación Nacional. (2014). *Políticas de educación de formadores*.
- Poggi, M. (2014). La educación en América Latina, logros y desafíos pendientes. *Revista Latinoamericana de Educación Comparada*, 5(6), 165-166. Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Secretaría de Educación Pública (SEP). (2003). *Hacia una política integral para la formación y el desarrollo profesional de los maestros de educación básica*. México.

Torres, A., Badillo, M., Valentín, N. O., y Ramírez, E. (2014). Las competencias docentes: el desafío de la educación superior. *Innovación educativa*, 14(66).129-145.

Desarrollo de videojuegos en espacios inteligentes para prácticas deportivas

Development of video games in smart spaces for sports practices

Desenvolvimento de videogames em espaços inteligentes para práticas desportivas

Edison Gustavo Cañón Varela

Docente de la Universidad de Cundinamarca - Facultad de Ingeniería,
Ingeniería de Sistemas, extensión Chía.
egcanon@ucundinamarca.edu.co.
ORCID: 0000-0002-5644-9005.

Juan Daniel Fetecua Fetecua

Estudiante de la Universidad de Cundinamarca -
Facultad de Ingeniería, Ingeniería de Sistemas, extensión Chía.
jdfetecua@ucundinamarca.edu.co.
ORCID: 0000-0001-9274-969X

Luis Gabriel Rojas Albarracín

Docente de la Universidad de Cundinamarca -
Facultad de Ingeniería, Ingeniería de Sistemas, extensión Chía.
lgabrielrojas@ucundinamarca.edu.co.
ORCID: 0000-0001-7597-9274.

Resumen

El uso de videojuegos en espacios tradicionales ha venido en aumento en los últimos años, en la educación se aprovechan los beneficios que estos ofrecen para potenciar los modelos pedagógicos y brindar experiencias de aprendizaje naturales. Este sistema ha establecido todo un campo de estudio al que se le denomina *Edugaming*. En contraposición, y aunque la inclusión de herramientas tecnológicas en el aula ha generado investigación y programas de actualización, no ocurre lo mismo en los esce-

narios de las clases de educación física, en las cuales no se ha visto ningún avance en la forma en que se desarrollan las clases en los últimos cincuenta años, respecto, al menos, a lo que se refiere a los espacios o lugares utilizados para el desarrollo de la clase.

En el siguiente trabajo se socializa la experiencia del desarrollo de videojuegos apoyado en la implementación de nuevas tecnologías en el aula de educación física, iniciativa que busca actualizar estas actividades en los colegios de primaria con el fin de aumentar el interés en la actividad deportiva, teniendo en cuenta, así mismo, las pautas principales para cumplir con los objetivos básicos de una clase de educación física. Por otra parte, se busca generar conciencia sobre la actividad física que se ha ido perdiendo por parte de los jóvenes con la llegada de la era digital, creando con esto generaciones de jóvenes sedentarios, que, según algunos estudios, a largo plazo pueden generar problemas de salud pública si no se fomenta la actividad física desde etapas tempranas.

Palabras clave: *aula de clase, educación física, espacios inteligentes, videojuegos educativos, videojuegos.*

Abstract

The use of videogames in traditional spaces has been increasing in recent years. In education, students take advantage of the benefits that those offer to potentiate pedagogical models and provide natural learning experiences. This system has established a whole field of study that is called Edugaming. In contrast and although the inclusion of technological tools in the classroom has generated research and updating programs, the same does not happen in the scenarios of physical education classes, where no progress has been seen, in the way in which the classes, in the last 50 years, respect, at least, in what it refers to the spaces or places used for the development of the class.

In the following social work, the experience of the development of video games is supported, supported by the implementation of new technologies in the physical education classroom, an initiative that seeks to update these activities in elementary schools in order to increase interest in sports, taking in mind, the main guidelines to meet the basic objectives of a physical education class. On the other hand, it seeks to generate awareness of physical activity that it has been lost by young people with the establishment of the digital era, creating generations of sedentary young people, which, according to some studies, may cause long-term problems of public health if physical activity is not encouraged from early stages.

Keywords: *Classroom, Smart spaces, edugaming, physical education, videogames*

Resumo

O uso de videogames em espaços tradicionais vem aumentando nos últimos anos na educação aproveitando os benefícios que eles oferecem para aprimorar modelos pedagógicos e proporcionar experiências de aprendizagem natural, este sistema esta-

beleceu um campo de estudo o qual é chamado de *Edugaming*. Em contraste, e apesar do fato de que a inclusão de ferramentas tecnológicas nas aulas gerou programas de pesquisa e atualização, o mesmo não ocorre nos cenários das aulas de Educação Física, onde nos últimos 50 anos não se observou nenhum progresso na forma como os processos de aprendizagem são desenvolvidos, pelo menos no referente aos espaços ou locais utilizados para o desenvolvimento das aulas.

No artigo, a experiência do desenvolvimento de videogames é socializada, apoiada na implementação de novas tecnologias na sala de aula de educação física, além, busca atualizar essas atividades no ensino fundamental, a fim de aumentar o interesse pela atividade esportiva, levando em conta as principais diretrizes para atender aos objetivos básicos de uma aula de educação física. Por outro lado, busca gerar conscientização sobre o interesse na atividade física o qual tem diminuído nos jovens em função da chegada da era digital, produzindo assim gerações de jovens sedentários que segundo alguns estudos, podem gerar problemas de saúde pública a longo prazo se a atividade física não é incentivada nas crianças.

Palavras-chave: *Aula, espaços inteligentes, edugaming, educação física, videogames*

1. Introducción

Según la (Organización Mundial de la Salud, 2016), la obesidad infantil es uno de los problemas de salud pública más graves del siglo XXI, causada principalmente por el desarrollo de una cultura sedentaria, debido a que las actividades recreativas han pasado de un rol activo a uno más pasivo. Más alarmante aún, los niños obesos y con sobrepeso tienden a seguir siendo obesos en la edad adulta y, en consecuencia, tienen más probabilidades de padecer a edades más tempranas enfermedades no transmisibles como la diabetes y enfermedades cardiovasculares (Alba-Martín, 2016).

Esto es un problema de suma importancia, puesto que la actividad física no debe estar sujeta a un gusto, sino debe ser vista desde un ámbito en el que es parte esencial del bienestar y la buena salud de la persona (Germán Vicente-Rodríguez, 2016). Por otra parte, la clase de educación física no trasciende a espacios de desarrollo cotidiano en los estudiantes, a pesar de que está establecida como obligatoria por la ley, en instituciones educativas de gran cantidad de países, y cuyo fin es precisamente promover la actividad física.

Una de las razones que desmotiva a los estudiantes en la práctica de actividad física es la popularización de otras actividades recreativas propias de la era digital, como son el uso de videojuegos, los cuales involucran actividades emocionales para el estudiante, quien se siente identificado y motivado debido a que brindan un mayor grado de satisfacción. De esta manera, la actividad física se termina desarrollando de forma obligatoria, sin generar ningún beneficio para que el estudiante le dé la relevancia y se concientice de la importancia de la actividad física para la salud y el bienestar (Baena, et al., 2014) motivation and satisfaction towards Physical Education (PE).

Es necesario buscar nuevos métodos para atraer e incentivar los valores e intereses en la actividad física, para que el estudiante tenga una formación temprana y crear hábitos saludables compitiendo con actividades más llamativas como el uso de videojuegos, que generan una mayor cantidad de estímulos. Además, es necesario buscar una manera de incluir las diferentes dimensiones en las que se forman las personas, para que se vean motivadas por su propio entorno, ya sean amigos, familia u otro factor personal. Según algunos estudios esto es una ayuda positiva para la motivación y a veces puede tener un papel más importante para la salud que la misma alimentación a la hora de generar resultados (Aguilar et al., 2014).

Por esta razón se cambia el enfoque para abordar la problemática pasando de la diferenciación entre la actividad física y el sedentarismo, que supone el uso de videojuegos, a la integración de ambas actividades, para generar un ambiente de desarrollo propicio en el que se promueva la actividad física.

2. Uso de videojuegos en educación física

Existen diversas propuestas que muestran la necesidad latente de incorporar la tecnología en las sesiones de educación física, principalmente como exigencia de la denominada sociedad de la información, la cual está influyendo en las actuaciones de

alumnos y que denota la necesidad de transformación del aula, además del rol del docente.

Según (Liao, 2015), una propuesta en este sentido es:

El apoyo de material multimedia que da crédito a las intenciones de ampliar y generar nuevos espacios en las aulas de educación física, y aunque la interdisciplinariedad no es el problema principal, se deben invertir más recursos en la creación de nuevos métodos de enseñanza, puesto que ya se ha probado su implementación en campos más especializados como el entrenamiento para deportes profesionales, y se ha evidenciado el aumento del rendimiento de jóvenes promesas del deporte por medio de la utilización de estos métodos, generando profesionales mejor capacitados.

2.1. Videojuegos activos y salud de los jóvenes: revisión de la investigación

La *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte* publicó una revisión de investigaciones en 2011 acerca del uso de videojuegos activos en jóvenes. En el estudio (Beltrán-Carrillo, 2011) afirma que los videojuegos activos son los que permiten la interacción física de los jugadores y sus movimientos a través de dispositivos como el Kinect de la consola Xbox o los controles de la Nintendo Wii. En este estudio, la revisión que hace el autor sobre los videojuegos activos va desde la actividad física requerida en los videojuegos activos, hasta su utilización en intervenciones para la promoción y como medio de rehabilitación.

La investigación concluye que los videojuegos activos representan una nueva alternativa de práctica física que puede contribuir a la reducción del sobrepeso y obesidad de la población joven, pero se aclara que el esfuerzo en este tipo de juegos es inferior al demandado por las correspondientes actividades físicas necesarias.

El uso de videojuegos activos tiene beneficios concernientes a la promoción de la actividad física, pero también tiene riesgos de

lesiones cuando no existe supervisión, esto debido a la diversidad de acciones que el jugador puede ejecutar según el tipo de juego y su condición física (Beltrán-Carrillo, 2011).

Por lo anterior, se reafirma la idea de incentivar en los jóvenes el desarrollar actividades físicas mediante el uso de videojuegos, ya que esta es una de las principales causas de sedentarismo en la juventud, con la llegada de nuevas tecnologías. Si se observa desde una perspectiva moderna, se pueden usar los videojuegos como aliados para el aprendizaje, más allá de considerarlos enemigos de la pedagogía. Estudios como el desarrollado por (Teresa Fuentes Nieto, 2017) revelan que la respuesta de los estudiantes es positiva a la hora de implementar nuevas tecnologías en el aula de clases, en este caso específico, el aula de educación física.

2.2. Espacios inteligentes para prácticas deportivas

El desarrollo de videojuegos para la realización de prácticas deportivas hace parte del proyecto de investigación *Espacios inteligentes para prácticas deportivas*, en el que se propone una actualización a los escenarios deportivos de formación, para dar respuesta a los nuevos requerimientos que exige la sociedad de la información, lo que supondría, en términos tecnológicos, escenarios deportivos versión 2.0, de tal forma que los docentes de deportes puedan estar a la vanguardia en materia de innovación e integración de la tecnología.

Para lograr lo mencionado, se presenta un aula construida con la premisa de reinventar los espacios deportivos mediante el uso de videojuegos y técnicas de visión artificial (para la captura de interacción del alumno con el videojuego), permitiendo así disminuir la brecha entre una de las actividades favoritas de los jóvenes y los objetivos formativos, esto soportado en los recursos tecnológicos del siglo XXI. En consecuencia, el proyecto consiste en rediseñar los espacios donde se desarrollan las clases de educación física, con el fin de aumentar la motivación de los estudiantes en la realización de sus actividades. Para esto se implementan mecánicas de juego que brinden un alto componente de diversión y garanticen la formación integral.

El aula está compuesta por tres sistemas interrelacionados entre sí: a) Infraestructura, b) Videojuego y c) Visión Artificial, diseñados para garantizar la mejor experiencia de usuario y avalados pedagógicamente para el adecuado desarrollo de sesiones de clase de educación física.

Como lo muestra la figura 1, la infraestructura consta de: cámaras, pared, proyector, equipo para procesamiento de visión artificial y para detección de golpes, equipo para gestión de eventos, procesamiento y proyección del videojuego.

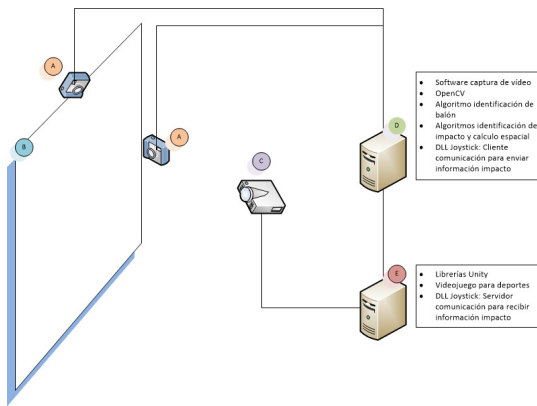


Figura 1. Infraestructura para espacios inteligentes.

Fuente: elaboración propia.

3. Metodología

Para asegurar la adecuada ejecución del proyecto y con base en las prácticas para el desarrollo de *software* de calidad, se sigue la metodología SUM para desarrollo de videojuegos, con la cual se establecen las actividades y los correspondientes tiempos de ejecución para lograr sus objetivos. En la figura 2 se detallan las fases y su tiempo de entrega.

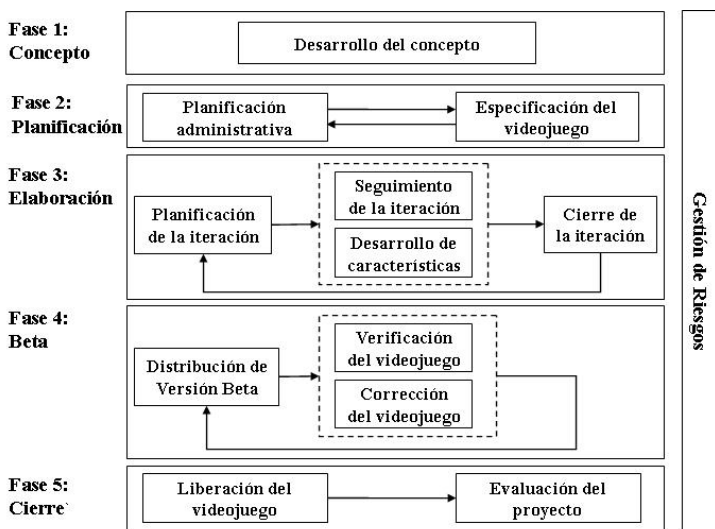


Figura 2. Fases metodología SUM.

Fuente: (Gemserk Game Development Company, 2019).

En la primera fase se hace el levantamiento de requisitos y la definición de los aspectos relevantes que debe cumplir el videojuego para que sea funcional a nivel de juego y cumpla con las pautas necesarias según el objetivo.

En la fase de planificación se establecen las actividades, la definición del equipo de trabajo y el presupuesto necesario para la ejecución. También se desarrolla el documento de diseño de juego o GDD (*Game Design Document*), en el cual se especifican todos los aspectos del juego y cómo se deben desarrollar a nivel técnico.

En la fase de elaboración, la metodología sigue un flujo de proceso iterativo, con el que busca desarrollar un producto funcional en el menor tiempo posible, agregando características en cada ciclo del proceso; para eso se elabora un plan de producción y se hace seguimiento a la ejecución de las actividades planeadas hasta lograr las funcionalidades.

En la fase beta, se tiene una versión estable del juego y se realizan pruebas para corrección de errores y, por último, se entrega el *software* terminado.

4. Resultados

4.1. Conceptualización

El desarrollo del concepto de juego es la fase inicial, en la que se establecen las características que debe cumplir; para ello se procedió a realizar un análisis y levantamiento de requisitos, luego se establecieron aspectos del juego tales como género, sistema de juego, características, historia y ambientación, teniendo en cuenta los aportes de un profesional del área de educación física para cumplir con los objetivos de una clase de educación física estándar.

En este sentido, se determina que para el desarrollo de las clases de educación física se cuenta con tres momentos importantes: una fase inicial en la que se realiza un calentamiento y se activa el flujo sanguíneo del estudiante, una fase central en la que se desarrollan las habilidades programadas en el plan curricular y, finalmente, un periodo en el que se vuelve a la calma, realizando ejercicios de estiramiento. A partir de las fases, se establecieron los siguientes requisitos pedagógicos que el videojuego debía cumplir:

- Desarrollar las habilidades visomotoras a través de actividades balonmano. Se practica el balonmano ya que trabaja todas las áreas físicas en el estudiante, por lo que no existen descompensaciones corporales.
- Promover la cooperación y el trabajo en equipo para la consecución de objetivos. La cooperación desarrolla habilidades sociales que favorecen la creación de actitudes de colaboración, solidaridad y confianza fundamentales en la formación integral.

El concepto final es un videojuego de cooperación por equipos, conformados por cinco jugadores que deben superar algunos retos. El nivel de dificultad es parametrizable por parte del docente de acuerdo con el grado de escolaridad, la edad y el estado físico.

Dentro de los aspectos más importantes para el desarrollo del videojuego se encuentran las mecánicas de juego, que son todas las acciones con las que se retroalimenta de manera visual, auditiva o háptica al jugador, con el fin de lograr una experiencia motivante.

Se establecen las mecánicas del videojuego para una sesión de clase de educación física de la siguiente manera:

En el escenario se encuentra un balón por cada jugador, el cual se debe manejar con la mano y lanzarlo contra los objetivos que se muestran en la pantalla según las reglas establecidas por el docente.

Cada equipo de cinco personas tiene un tiempo limitado para obtener puntos según la modalidad de juego, al final el equipo que logra la mejor puntuación es el ganador.

El videojuego cuenta con tres modalidades conforme al desarrollo de las clases de educación física. Para esto hay tres tipos de actividades o mecánicas definidas: a) Puntos fijos, b) Puntos con movimiento lineal y c) Puntos con movimiento aleatorio:

- a. *Punto fijos*. El equipo debe impactar los objetivos que aparecen en pantalla.
- b. *Puntos con movimiento lineal*. El equipo debe impactar los objetivos que tiene un movimiento lineal y que van apareciendo en pantalla según el tiempo de juego.
- c. *Puntos con movimiento aleatorio*. El equipo debe impactar los elementos que aparecen en pantalla que tienen un movimiento aleatorio, con el fin de obtener la mayor cantidad de puntos.

4.2. Planificación

Una vez se establece el concepto de juego, se especifican en el documento de diseño las características de todos los elementos del videojuego, a los que se les denomina *asset*. En esta etapa quedan definidas las características para que el equipo de trabajo pueda desarrollarlas a cabalidad. Para el diseño del proyecto se detallaron los elementos que se involucran en cada nivel de juego según la clase de educación física.

En términos generales, el diseño de los juegos quedó de la siguiente manera:

- *Juego 1 - Calentamiento*: disparo a puntos fijos, será un animal que pedirá ayuda a los estudiantes para la recolección de objetos, el educador de educación física podrá asignar el tiempo del juego y el número de equipos que él necesite para la clase.
- *Juego 2 - Objetivo de la clase*: disparo a objetivos en movimiento lineal, se contará la historia de una nave en el espacio que necesita la ayuda de los estudiantes para despejar el camino de una lluvia de meteoritos. El educador de educación física podrá asignar el tiempo del juego y el número de equipos que él necesite para la clase.
- *Juego 2 - Estiramiento*: con el balón en la mano y ubicado en el centro de la pantalla, el estudiante atrapará las mariposas que salen de la parte inferior con una cesta que aparece a partir del reconocimiento del balón.

Se programaron las entregas requeridas de acuerdo con las necesidades del proyecto, para evaluar el avance y la funcionalidad, de manera que exista un incremento constante en la construcción del videojuego. Estas tareas se dividen en periodos de desarrollo con una fecha de entrega, cada periodo se denomina iteración, al finalizar cada iteración cuenta con un producto funcional más completo hasta concluir con la entrega final. Así mismo se retroalimenta el proceso en cada iteración para dar respuesta inmediata al cambio.

4.3. Proceso de desarrollo de videojuegos

Para la creación del juego se utiliza Unity 3D, un motor para desarrollo de videojuegos bastante robusto con el cual, según (Unity3D, 2019), se han creado más de 28 billones de juegos en el mundo, 50 % de los juegos hechos para móviles se están desarrollando en esta plataforma y 3 billones de dispositivos han instalado una aplicación hecha con Unity. Para el caso específico del proyecto Unity cuenta con el ambiente ideal para construir el videojuego en las condiciones requeridas y facilita la conexión con el sistema de visión artificial, ya que las dos aplicaciones trabajan con el Framework 4.5 de .net (Unity Support, 2019).

El proceso de producción de videojuegos comprende varios elementos: programación, creación de aspectos visuales e implementación de audio, los cuales convergen para crear un producto que ofrece una experiencia interactiva al jugador, en este caso al estudiante. En este sentido, se desarrollaron las actividades según el tipo de elemento del videojuego: primero se crearon todos los elementos gráficos para la construcción de escenarios y objetos de interacción, además de la interfaz de usuario para dar retroalimentación del estado del juego y realizar las configuraciones. Luego, se inició la programación de los elementos con base en el diseño, se hizo la gestión de puntos y se parametrizaron las opciones de configuración, además de integrar el audio para retroalimentar al estudiante.

Para realizar la integración con el sistema de visión artificial se implementó una librería de elaboración propia, que identifica los golpes del balón, a partir de la cual se construyó un módulo en el videojuego para la gestión de eventos, al recibir los golpes del balón, tal como se observa en la figura 3.

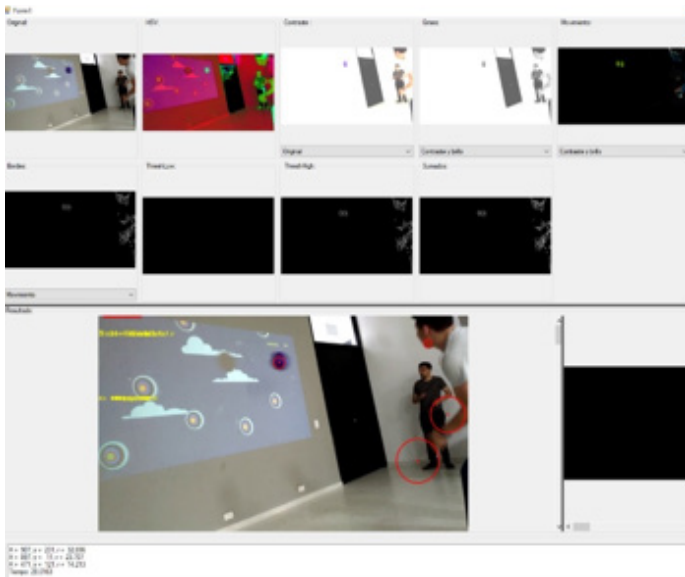


Figura 3. Pruebas de integración con Sistema de Visión Artificial.

Las actividades anteriormente descritas se realizaron por cada tipo de juego, dando como resultado la creación de la primera versión de la clase de educación física extrapolada a un espacio inteligente.

Para evaluar los resultados se realizaron pruebas con un grupo de estudiantes en el Colegio José Joaquín Casas, Institución Educativa Departamental del municipio de Chía, Cundinamarca, con estudiantes de edades entre los 8 y 10 años, quienes jugaron los tres niveles del videojuego correspondientes al desarrollo de una clase de educación física.

En primera instancia, los estudiantes realizaron un calentamiento, disparando a puntos fijos en el juego, tal como lo muestra la figura 4.

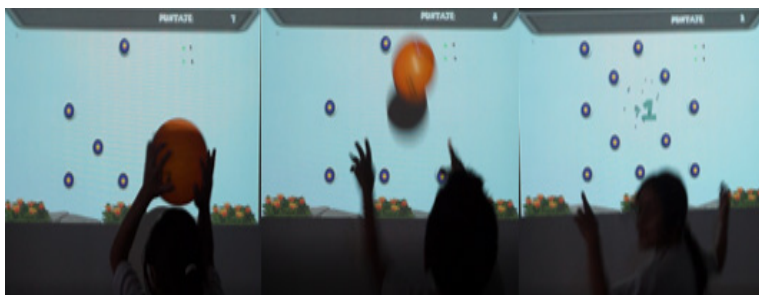


Figura 4. Pruebas de videojuego en espacio inteligente, fase de calentamiento.

En la segunda parte de la sesión, el nivel de dificultad aumentaba ya que se desarrollan las habilidades propias de la clase. La misión en el videojuego fue despejar el camino de asteroides en movimiento para salvaguardar una nave espacial. A nivel pedagógico se desarrollan las habilidades de coordinación visomotoras, como se observa en la figura 5.

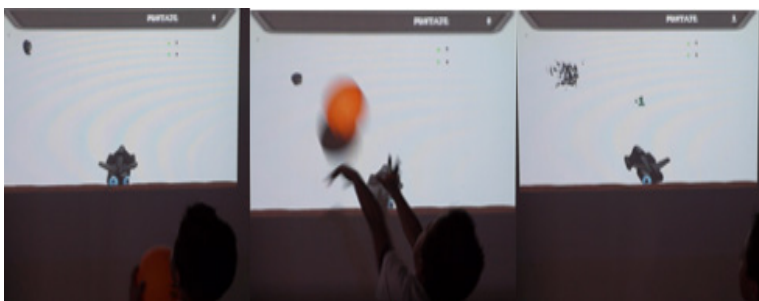


Figura 5. Pruebas de videojuego en espacio inteligente, desarrollo de habilidades visomotoras.

Finalmente, realizaron estiramiento con el videojuego que consistía en atrapar mariposas mediante el balón, como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Pruebas de videojuego en espacio inteligente, estiramiento.

5. Conclusiones

Con la experiencia del funcionamiento de los videojuegos en el espacio inteligente, se estudió el comportamiento de los estudiantes frente a las modalidades de juego y se establecieron posibilidades de mejora. Desde el primer momento se verificó el alto impacto que genera el uso de videojuegos, de forma que estuvieron todo el tiempo animados y a la expectativa de las acciones que podían realizar con la interacción del balón y la pantalla.

Sí bien el uso de videojuegos activos limita el rango de movimientos que el estudiante debe realizar para desarrollar su coordinación y rango de movimiento, en el caso del espacio inteligente desarrollado para las prácticas de educación física, esa limitante desaparece ya que no existen elementos obstructivos, por lo que los objetivos de la clase de educación física se cumplen a cabalidad.

El creciente uso de tecnología en jóvenes y niños en la vida personal es culturalmente relevante, según (Casey et al., 2017) existe un potencial de estos recursos para enseñanza en salud a través de la educación física y podría convertirse en un importante recurso para la construcción de conocimiento utilizada por los docentes. Así mismo, se inicia la segunda fase para el desarrollo de videojuegos en este entorno, en el que se busca que el videojuego tenga contenido gráfico intercambiable para hacer frente a la

variedad de gustos de los estudiantes, que está bastante marcada entre niños y niñas.

La versión inicial de contenido intercambiable se está desarrollando con una herramienta brindada por Unity denominada *AssetsBundles*, que permite generar paquetes de objetos de juego, los cuales pueden reemplazar a los objetos originales directamente con ubicación en fichero.

6. Referencias bibliográficas

- Alba-Martín, Raquel. (2016). Prevalencia de obesidad infantil y hábitos alimentarios en educación primaria. *Enfermería Global*, 15(42), 40-51. Recuperado de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1695-61412016000200003&lng=es&tlng=es
- Aguilar, M. J., Ortegón, A., Mur Villar, N., Sánchez, J. C., Verazaluce, J. J., García, I., y Sánchez, A. M. (2014). Programas de actividad física para reducir sobrepeso y obesidad en niños y adolescentes; revisión sistemática. *Nutrición Hospitalaria*, 30(4), 727-740. <https://doi.org/10.3305/nh.2014.30.4.7680>
- Baena, A., Granero, A., Sánchez, J. A., y Martínez, M. (2014). Modelo predictivo de la importancia y utilidad de la educación física. *Cuadernos de Psicología Del Deporte*, 14(2), 121-130. Recuperado de <https://revistas.um.es/cpd/article/view/199581/162451>
- Beltrán-Carrillo, V. J., Valencia-Peris, A., y Molina-Alventosa, J. P. (2011). Los videojuegos activos y la salud de los jóvenes: revisión de la investigación. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 10(41), 203-219. Recuperado de <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista41/artvideojuegos190.htm>
- Casey, A., Goodyear, V. A., y Armour, K. M. (2017). Rethinking the relationship between pedagogy, technology and learning in health and physical education. *Sport, Education and Society*, 22(2), 288-304. <https://doi.org/10.1080/13573322.2016.1226792>
- EXERNET (Red Española de Investigación en Ejercicio Físico y Salud), Vicente-Rodríguez, G., Benito, P. J., Casajús, J. A., Ara,

- I., Aznar, S., Castillo, M. J., Dorado, C., González-Agüero, A., González-Gallego, J., González-Gross, M., GraciaMarco, L., Gutiérrez, A., Gusi, N., Jiménez-Pavón, D., Lucía, A., Márquez, S., Moreno, L., Ortega, F. B., De Paz, J. A., Ruiz, J. R., Serrano, J. A., Tur, J. A., y Valtueña, J. (2016). Actividad física, ejercicio y deporte en la lucha contra la obesidad infantil y juvenil. *Nutrición Hospitalaria*, 33(Supl. 9),1-21. doi: <http://dx.doi.org/10.20960/nh.828>
- Fuentes, T., y López, V. (2017). Evaluación auténtica, coevaluación y uso de las TIC en educación física: un estudio de caso en secundaria. *Revista Infancia, Educación y Aprendizaje*, 3(2), 42. doi: <https://doi.org/10.22370/ieya.2017.3.2.697>
- Gemserk Game Development Company. (2019). Gemserk Game. Recuperado de <http://www.gemserk.com/sum/>
- Liao, T. (2015). Application of Virtual Reality Technology to Sports. In: *International Conference on Circuits and Systems (CAS 2015)*, 516-522. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/48c2/be5567e4c66626b353b5b1cf6ed0e8c9c11d.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2016). Sobrepeso y obesidad infantiles. Recuperado de <https://www.who.int/diet-physicalactivity/childhood/es/>
- Rodríguez, G. V. (2016). Actividad física, ejercicio y deporte en la lucha contra la obesidad infantil y juvenil. *Nutrición Hospitalaria*, 33(Supl. 9), 1-21. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.828>
- Unity Support. (2019). Unity Manual. Recuperado de <https://docs.unity3d.com/Manual//dotnetProfileSupport.html>
- Unity3D. (2019). Public-relations. Recuperado de <https://unity3d.com/public-relations>

Clase invertida: integración TIC en el aula

Flipped Classroom: ICT integration in the classroom

Sala de aula invertida: integração das TIC na sala de aula

Luz Jaddy Castañeda Rodríguez

Docente de la Universidad de Cundinamarca -
Facultad de Ingeniería, área de Ciencias Básicas. Facatativá, Colombia.
ljcastaneda@ucundinamarca.edu.co.
ORCID: 0000-0002-6970-9144.

Harvey Hernández Yomayusa

Docente de la Universidad de Cundinamarca -
Facultad de Ingeniería, área de Ciencias Básicas. Facatativá, Colombia.
hihernandez@ucundinamarca.edu.co.
ORCID: 0000-0001-7849-4133.

Angélica Bravo Bohórquez

Docente de la Universidad de Cundinamarca -
Facultad de Ingeniería, área de Ciencias Básicas. Facatativá, Colombia.
abravob@ucundinamarca.edu.co.
ORCID: 0000-0001-7655-4278.

Alejandro Hernández Hernández

Docente de la Universidad de Cundinamarca -
Facultad de Ingeniería, área de Ciencias Básicas. Facatativá, Colombia.
luisahernandez@ucundinamarca.edu.co.
ORCID: 0000-0003-4642-5648.

Resumen

Reconociendo que las Tecnologías Emergentes (TE) han modificado la manera como se accede, se procesa y se comparte la información, se tiene como propósito incorporar la metodología Flipped Classroom en la enseñanza-aprendizaje de la física en

la Universidad de Cundinamarca para fortalecer el aprendizaje autónomo y significativo. Se hace una aplicación piloto utilizando la metodología investigación-acción, después de haber preparado los elementos considerados necesarios. Se describen los lineamientos definidos y aplicados y se analizan resultados a nivel cualitativo y cuantitativo con respecto al aprovechamiento de los recursos por parte de un grupo de 41 estudiantes teniendo en cuenta los más usados y cómo se evidencia en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Palabras clave: *Ciencias básicas, Educación superior, Flipped Classroom, Flipped Learning, TIC.*

Abstract

Recognizing that Emerging Technologies (ET) have modified the way in which information is accessed, processed and shared, the purpose is to incorporate the Flipped Classroom methodology into the teaching-learning of Physics at the University of Cundinamarca to strengthen learning autonomous and significant. A pilot application is made using the research-action methodology, after having prepared the elements considered necessary. The defined and applied guidelines are described and results are analyzed at a qualitative and quantitative level with respect to the use of resources by students, taking into account the most used and how it is evidenced in the teaching-learning process.

Keywords: *Basic sciences, Higher education, Flipped Classroom, Flipped Learning, TIC.*

Resumo

Reconhecendo que as Tecnologias Emergentes (ET) modificaram a maneira pela qual as informações são acessadas, processadas e compartilhadas, o objetivo é incorporar a metodologia da Sala de Aula Invertida no ensino-aprendizagem de física na Universidade de Cundinamarca para fortalecer o aprendizado autônomo e significativa. Uma aplicação piloto é feita usando a metodologia de pesquisa-ação, depois de ter preparado os elementos considerados necessários. As diretrizes definidas e aplicadas são descritas e os resultados analisados em um nível qualitativo e quantitativo, com relação ao uso de recursos por um grupo de 41 alunos, levando-se em conta os mais utilizados e como se evidencia no processo de ensino-aprendizagem.

Palavras-chave: *Aprendizado Invertido, Ciências Básicas, Ensino Superior, Sala de Aula Invertida, TIC.*

1. Introducción

El cuestionamiento docente acerca de cómo mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje con los estudiantes, dentro y fuera del aula, nos ha motivado a desarrollar inicialmente el proyecto *Flipped Classroom como metodología para fortalecer los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias básicas*, desde las aulas virtuales de la Universidad de Cundinamarca, continuado en la propuesta que actualmente se encuentra en desarrollo denominada *Desarrollo de estrategias pedagógicas mediante tecnologías emergentes para la enseñanza de las matemáticas en la Universidad de Cundinamarca* que, en términos generales, tienen como propósito involucrar eficientemente las herramientas tecnológicas en los procesos de enseñanza-aprendizaje, de tal forma que no solo el docente pueda innovar en la presentación de la asignatura, de manera que se cambie el paradigma de transmisión de conocimiento, sino, además, abrir un espacio para la retroalimentación y el desarrollo de situaciones problemas en clase, y se trabaje en diferentes espacios y tiempos centrados en el estudiante, caracterizados por ser estrategias motivadoras, concertadas, asertivas e incluyentes.

Utilizando entre otros recursos las aulas virtuales de la Universidad de Cundinamarca, se desarrolla un curso con la propuesta de aula invertida haciendo una aplicación piloto con un grupo de estudiantes del curso de Física I.

Se hizo necesaria la producción de material por parte del grupo de investigación Axioma, avalado por la Universidad de Cundinamarca, dentro del que se puede contar con 22 videos tutoriales propios, guías por unidad temática, glosarios de preconceptos y conceptos por unidad temática, guías de laboratorio, cronograma de actividades por unidad temática y rúbricas de evaluación.

Se hizo necesario, igualmente, definir la estructura del aula virtual ajustada a la estrategia propuesta. Así fue posible que el espacio de presencialidad se aprovechara para resolver dudas, generar discusiones conceptuales con la participación activa del estudiante y plantear y resolver problemas de profundización

conceptual; ejercicio que en el modelo tradicional habitualmente se deja de tarea.

2. Algunos conceptos preliminares

2.1. *Flipped Learning - Flipped Classroom*

Flipped Learning es una perspectiva pedagógica que obedece a la generalidad de la metodología *Flipped Classroom*. No necesariamente *Flipped Classroom* involucra todas las características del *Flipped Learning*, el cual es considerado un modelo híbrido en la medida en que usufructúa las cualidades de los modelos inductivos y deductivos, involucrando la incorporación de las TIC de forma sistemática e instrumental (Universidad de La Rioja). El *Flipped Learning* fue acuñado por Hamdam, McKnight, McKnight y Arfstrom (2014) y lo definen así:

Flipped Learning es un enfoque pedagógico en el que la instrucción directa se mueve del espacio de aprendizaje grupal al espacio de aprendizaje individual y el espacio grupal resultante se transforma en un entorno de aprendizaje dinámico e interactivo donde el educador guía a los estudiantes mientras aplican conceptos y participan creativamente en el tema.

Por otra parte, la clase invertida o *Flipped Classroom* es una metodología de enseñanza-aprendizaje que se apoya en los recursos TIC, con el propósito de fomentar o desarrollar habilidades en los estudiantes más allá de las meramente cognitivas. Así, los estudiantes acceden a la información explicativa sobre un tema desde sus dispositivos móviles o de escritorio, previamente al desarrollo de la clase. Y la clase presencial se aprovecha para contextualizar el tema mediante la resolución de problemas en general.

Aunque surge hacia el año 2000 con Lage, Platt y Treglia, comienza a tomar forma hasta 2007 cuando Jonathan Bergmann y Aarom Sams, docentes de química en la escuela Woodland Park High School de Colorado (Estados Unidos), empiezan a experi-

mentar grabando sus clases para poderlas compartir con aquellos estudiantes que por distintas razones no habían podido estar presentes (Bergmann & Sams, 2014). Luego, se dan cuenta de que también los estudiantes que estuvieron presentes están interesados en revisar el material para reforzar lo visto, además de estudiantes externos a la institución que empezaron a encontrar este recurso en la web. Y así notan que el estudiante logra por sí solo aprender el concepto y empieza a aprovecharse el tiempo de aula en la resolución de dudas o en la aclaración de conceptos o, mejor aún, sus estudiantes empiezan a comentar sobre algo que encontraron relacionado con el tema.

2.2. Lineamientos

Las características generales que se pueden evidenciar en la clase invertida, son:

- Aprovechamiento óptimo de las TIC en los procesos de enseñanza-aprendizaje (López J., 2016).
- Fortalecimiento de la autonomía escolar.
- Reforzamiento del trabajo colaborativo.
- Participación activa del estudiante en el aula de clase y fuera de ella.
- El proceso está centrado en el estudiante y no en el docente.
- El modelo se ajusta al estilo y ritmo de aprendizaje del estudiante.

Si bien es cierto que los autores definen ventajas y desventajas (algunas de ellas descritas en la lista anterior) acerca de la metodología, son más las ventajas en la medida en que han notado que sus estudiantes tienen una mayor motivación por aprender y su autonomía en el aprendizaje, así como su claridad en los conceptos, evidencian notables mejoras a la hora de compararlo con la metodología tradicional (Bergmann & Sams, 2014).

En general, Hamdam, McKnight, McKnight y Arfstrom (2014) definen *cuatro pilares del Flipped Learning*, como se observa en la figura 1:

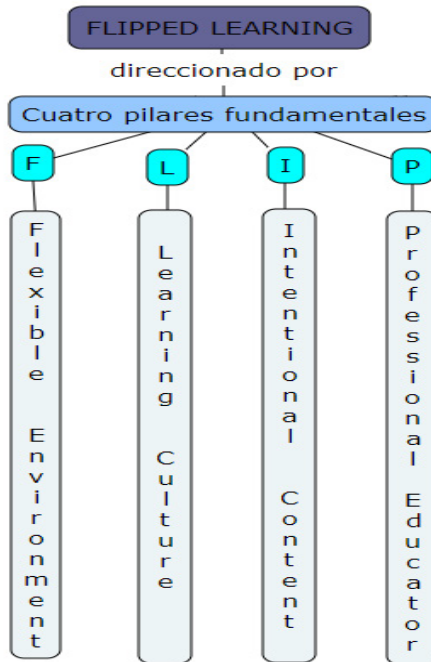


Figura 1. Cuadro sobre los cuatro pilares de Flipped Learning de The Four Pillars of F-L-I-P.

Fuente: elaboración propia.

En la actualidad esta metodología se encuentra en auge y es ampliamente aplicada desde niveles de educación básica primaria, como se evidencia en el trabajo de investigación realizado por Yactayo (2016), hasta la educación superior, como se observa en el presente trabajo. También, abarca todas las áreas en los distintos niveles de educación escolar y superior, desde las clases de química de Bergmann y Sams, hasta educación física (García, Castro, & Toledo, 2015) y educación musical (Calvillo, 2014), consideradas en un ámbito más lúdico.

2.3. Características del educador y el educando

- a. *Manejo de Tecnologías de Información y Comunicación*: estas permiten que el estudiante aprenda utilizando herramientas tecnológicas de uso cotidiano. Lo que motiva al docente a ser líder en el uso de diferentes herramientas tecnológicas.
- b. *Ambiente flexible*: una de las principales ventajas de la metodología *Flipped Classroom* es la flexibilidad del proceso de enseñanza-aprendizaje, de manera que el estudiante aprenda a su ritmo, con el manejo de su tiempo y en los espacios que considere convenientes (Bergmann & Sams, 2014).
- c. *Cultura de aprendizaje*: para que el proceso de enseñanza-aprendizaje sea eficaz con la metodología *Flipped Classroom*, es necesario cambiar el paradigma de la educación tradicional en la cual el docente es el líder del proceso, mientras que en la propuesta del aula invertida es el estudiante el centro en su proceso de formación.

El modelo recibe el nombre de aula invertida (*Flipped Classroom*), debido a que se motiva al estudiante a visualizar los contenidos temáticos, los procesos de cálculo y las aplicaciones en situaciones del contexto. En el aula el profesor tiene la posibilidad de hacer la retroalimentación del material consultado y proponer situaciones problemáticas que permitan fortalecer y profundizar en los conceptos.

- d. *Contenido intencional*: la preparación del material se pensó y elaboró para que se logre el objetivo de aprendizaje, tanto del material virtual como de la sesión presencial. Dicha preparación permite dinamizar, actualizar y relacionar las actividades con los diferentes conceptos propuestos. Se convierte en una posibilidad para el docente de innovación y de aplicación de nuevas estrategias en el aula.
- e. *Educador profesional*: el educador en la metodología *Flipped Classroom* requiere un alto sentido de implicación, compromiso y profesionalismo ya que debe descubrir los avances en el proceso de aprendizaje de sus estudiantes,

generando diferentes actividades individuales o grupales, desarrollo de preguntas que motiven la retroalimentación, prestar asesoría permanente, facilitar guías de trabajo y maximizar las interacciones con los estudiantes (López, 2015).

2.4. TIC empleadas en el proyecto

A continuación, en el cuadro 1, se relacionan los recursos TIC requeridos en la ejecución de la propuesta, en función de su utilidad:

Cuadro 1. Relación de recursos TIC aplicados.

Nombre recurso TIC	Características	Uso en el proyecto
Aula virtual (plataforma Moodle)	Es un recurso derivado del e-learning (con el que cuenta la institución educativa), que permite en el caso complementar las actividades presenciales.	Se organizó el contenido y se programaron las actividades. Se dispuso de igual manera a través de este medio, el acceso a varios de los recursos.
Google Form	Es una aplicación de Google Drive que sirve para la aplicación de encuestas en línea, que muestra además resultados estadísticos.	Se utilizó en el diseño y la aplicación del test.
YouTube	Es un sitio web que sirve para compartir y visualizar videos.	A través de este sitio se compartieron videos tutoriales de producción propia y de otras fuentes, vinculados a través del aula virtual.
Dispositivo móvil con cámara de video (teléfono, Tablet, etc.).	Recurso tecnológico que integra servicios de comunicación (incluido el acceso a Internet) y recursos multimedia (cámara de video, grabador de audio).	Requerido en la toma de datos de la aplicación experimental, a través de la toma de un video del experimento.
Tracker	Software de acceso libre analizador de video, que además sirve como simulador de situaciones físicas.	A través de este software se procesaron los videos tomados en algunas prácticas experimentales para la obtención de datos.

Fuente: elaboración propia.

3. Resultados

Inicialmente, se presentan los resultados de una revisión bibliográfica realizada al inicio del proyecto:

a. Estructura del aula virtual fundamentada en la metodología Flipped Classroom.

Para el desarrollo de un aula virtual enfocada desde la metodología del aula invertida se ha propuesto la secuencia que se muestra en la figura 2 (Hernández, Castañeda, Bravo, & Alejandro., 2018):

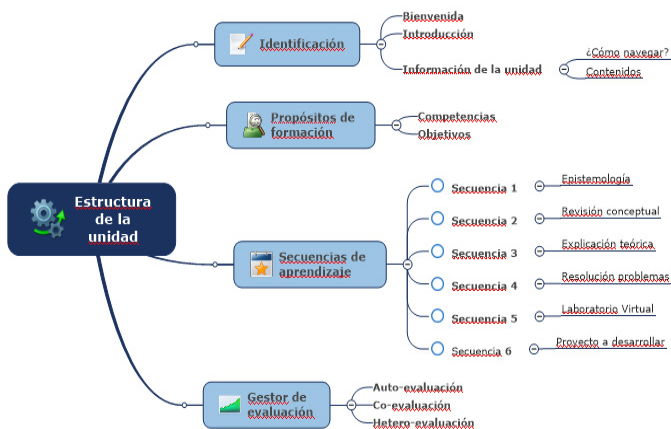


Figura 2. Estructura de una unidad del aula virtual fundamentada en la metodología Flipped Classroom.

Se propuso estructurar cada unidad temática en el aula virtual desde los siguientes parámetros:

1. *Identificación de la unidad temática:* para ambientar al estudiante con cada tema se incorpora al inicio un video tutorial de bienvenida en el cual se explica el contenido y la estructura de la unidad. Igualmente, es de aclarar que se

generó una presentación en la cual se le indica al estudiante cómo navegar en el curso y la estructura general.

2. *Propósitos de formación*: se plantea en cada unidad las competencias por desarrollar con los contenidos que allí se muestran en términos de las metas de aprendizaje, tomando como referencia las Competencias *Tuning para Latinoamérica* (Ramírez & Medina, 2008). De igual manera, se describen los objetivos propuestos para los contenidos de la unidad.
3. *Secuencias de aprendizaje*: cada una de las guías desarrolladas por unidad fueron ajustadas a un mismo esquema. Inicialmente se plantea el aspecto epistemológico del contenido abordado, cómo surgió y cómo evolucionó. Al respecto, se propone un foro de discusión que luego se aborda en la clase presencial. Después se proponen unos preconceptos y conceptos necesarios para abordar el contenido denominado *revisión conceptual*.
4. En seguida se plantean los videos tutoriales para la explicación teórica y a cada uno de ellos se incorpora un quiz (usando recursos didácticos del aula virtual) como verificación de que se visualiza el video. Se plantea luego un par de situaciones problema para ser discutidas en la sesión presencial y como refuerzo de la explicación teórica. Posteriormente se plantea un laboratorio, que primero se pensó virtual, pero algunos se desarrollaron de manera presencial para involucrar aspectos de modelación matemática.
5. *Gestor de evaluación*: en este aspecto, se involucró el modelo de evaluación que plantea la Universidad de Cundinamarca mediante la Autoevaluación, la Coevaluación y la Heteroevaluación (Consejo Superior - Universidad de Cundinamarca, Julio 12 de 2006). Teniendo en cuenta la flexibilidad y la autonomía por parte de los docentes para este ejercicio (Universidad de Cundinamarca, 2012), se planteó un formato para obtener resultados por cada unidad para los tres aspectos.

b. Recursos web

Para desarrollar la propuesta investigativa se evalúa el uso de diferentes Tecnologías de la Información y la Comunicación, concatenadas de acuerdo con sus características en la figura 3 (Hernández, Castañeda, Bravo, & Alejandro., 2018):



Figura 3. Recursos con los que se articuló el contenido en la estrategia propuesta.

Por otra parte, se obtuvieron resultados en cuanto a la aplicación piloto en los siguientes aspectos:

4. Uso de los recursos disponibles

Se observa en la figura 4 que los estudiantes no tuvieron inconveniente con el ingreso al aula virtual y, en la mayoría de los casos, accedieron a los recursos disponibles allí, como se observa en los demás elementos. De igual manera, recursos como los videos tutoriales, los formatos de Google Form y el uso de dispositivos tecnológicos (cámara de video), son fácilmente accesibles al estu-

diante. Por otro lado, el uso del foro al inicio no fue muy familiar para los estudiantes, pero luego de adaptarse al proceso aprovecharon oportunamente este espacio de discusión.

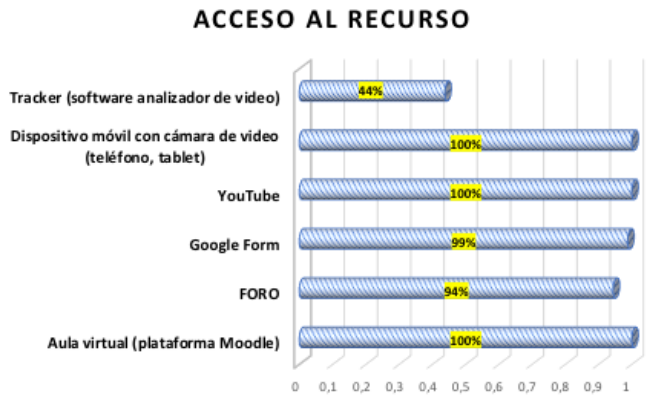


Figura 4. Porcentaje de acceso al recurso propuesto por parte de los estudiantes.

En cuanto al analizador de video Tracker, se refleja un bajo acceso apenas del 44 %, teniendo en cuenta que este software debía instalarse en los equipos de cómputo para procesar la información, inicialmente fue instalado en un equipo por cada grupo de trabajo, luego otros estudiantes decidieron instalarlo para familiarizarse con el ejercicio.

5. Resultados académicos de los estudiantes

En la Universidad de Cundinamarca para el proceso de Heteroevaluación se generan tres resultados, comúnmente denominados cortes. Se evidencia en la figura 5 que en la medida en que los estudiantes se fueron habituando a la metodología y al uso de los recursos, sus resultados académicos fueron mejorando. El promedio del grupo en el primer corte fue de 2,9 mientras que en el tercer corte fue de 3,5.

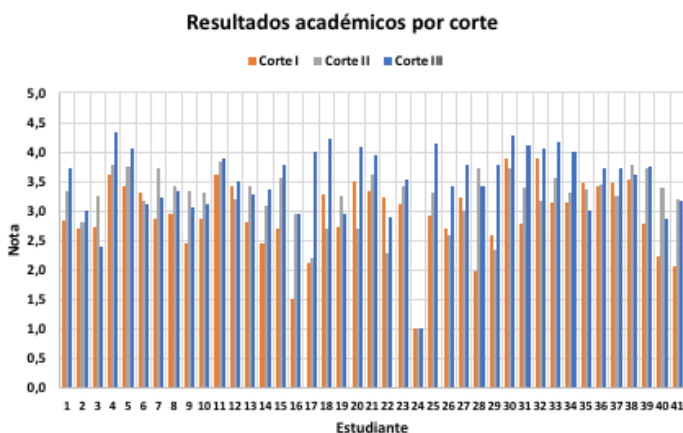


Figura 5. Porcentaje de acceso al recurso propuesto por parte de los estudiantes.

6. Conclusiones

En una primera aplicación de la estrategia se encontró un resultado satisfactorio en distintos aspectos. En primera instancia como reto propio se hizo posible llevar a la práctica educativa la inserción de TIC de manera organizada y dinámica, con resultados muy positivos en los estudiantes tanto en el aspecto académico como de motivación frente al aprendizaje.

Esto último se sustenta en que en los resultados evaluados, como ya se dijo anteriormente, hubo una notoria y constante mejoría por parte de la mayoría de los estudiantes.

Frente a la aplicación piloto, se recopilieron observaciones con respecto a la manera como los estudiantes se involucraron en el proceso, de las que podemos resaltar las siguientes:

- Inicialmente se tuvieron algunas dificultades para dar inicio a las actividades programadas, en la medida en que no todos pudieron ingresar al aula virtual por inconvenientes de usuario y contraseña (aun habiendo hecho la recomen-

dación previamente de que verificaran su acceso). Esto retrasó un poco la actividad programada para la sesión presencial ya que debía haberse visualizado un video recomendado en el aspecto para discutirlo en la clase. Cabe anotar que al proponer una dinámica distinta de trabajo puede costarle un poco a los estudiantes el adaptarse (incluso como docentes nos cuesta).

- Para la siguiente sesión debían ver dos de los videos explicativos recomendados y resolver los dos quices de control relacionado con estos. Allí se hizo evidente la motivación de los estudiantes ya que el 95 % hicieron el ejercicio, además las sesiones eran mucho más interactivas entre los estudiantes porque llegaban con interrogantes y comentarios en los cuales la discusión permitía que aún entre ellos mismos resolvieran varias de sus dudas.

7. Referencias bibliográficas

- Bergmann, J. y Sams, A. (2014). *Dale la vuelta a tu clase*. Madrid: Ediciones SM.
- Calvillo, A. J. (2014). *El modelo Flipped Learning aplicado a la materia de música en el cuarto curso de Educación Secundaria Obligatoria: una investigación-acción para la mejora de la práctica docente y del rendimiento académico del alumnado*. España: Universidad de Valladolid. Facultad de Educación de Segovia.
- García, I., Castro, N., y Toledo, P. (2015). Las flipped classroom a través del smartphone: efectos de su experimentación en educación física secundaria. *Prisma Social: revista de investigación social*, (15), 296-351. Las Matas, España: IS+D Fundación para la Investigación.
- Hamdam, N., McKnight, P. E., McKnight, K., y Arfstrom, K. M. (2014). *The four pillars of F-L-I-P*. Recuperado de <https://flippedlearning.org/definition-of-flipped-learning/>
- Hernández, H., Castañeda, J., Bravo, A., y Alejandro., H. (2018). *Tecnología educativa en la educación superior*. Facatativá, Colombia.

- López, A. (2015). *Invirtiendo el aula: de la enseñanza tradicional al modelo Flipped-Mastery Classroom*. (Tesis de maestría, Universidad de Valladolid, España). Recuperado de <http://uva-doc.uva.es/bitstream/handle/10324/15224/TFM-G523.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, L., y Medina, M. G. (2008). Educación basada en competencias y el proyecto Tuning en Europa y Latinoamérica. Su impacto en México. *Revista Ide@s CONCYTEG*, 3(39), 3-4. Recuperado de http://mibibliotecatec.weebly.com/uploads/5/4/5/7/54577939/edu_basada_competencias_proyecto_tuning.pdf
- Universidad de Cundinamarca. (12 de julio de 2006). *Acuerdo N.º 010 por el cual se expide el reglamento estudiantil para los programas de pregrado de la Universidad de Cundinamarca*. (p. 28). Fusagasugá: Consejo Superior - Universidad de Cundinamarca.
- Universidad de Cundinamarca. (2012). *Documento sobre evaluación. La evaluación en el proceso de aprendizaje-enseñanza*. Consideraciones generales - Mitos de la evaluación. Fusagasugá, Colombia.
- Universidad de La Rioja. (s. f.). *La integración de las TIC en los centros educativos*. Tema 2 - Material de estudio. (p. 6). Madrid.
- Yactayo-López, J. (2016). *Flipped classroom: una experiencia real*. (Tesis de maestría, Universidad de Cantabria, España).

Entornos Virtuales de Aprendizaje (EVA) aplicados a la enseñanza de robótica educativa

Virtual Learning Environments (EVA) applied to the teaching of educational robotics

Ambientes Virtuais de Aprendizagem (EVA) aplicados ao ensino de robótica educacional

Javier Hernando Ruiz Farfán

Universidad de Cundinamarca,
Facultad de Ingeniería de Sistemas. Chía, Colombia.
Javier.ruiz.f@hotmail.com.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1604-867X>

María Fernanda Triana Barrantes

Universidad de Cundinamarca,
Facultad de Ingeniería de Sistemas. Chía, Colombia.
Mafe.triana.b@outlook.com.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1604-867X>

Resumen

Actualmente la educación virtual representa el futuro en el desarrollo de la academia, dados los beneficios que ostenta respecto a las dificultades tiempo-espaciales. Así, el desarrollo de las EVA ha contribuido a la formación de estudiantes que antes no tenían la posibilidad de instruirse en temas que no eran tan asequibles como la robótica; sin embargo, es importante denotar las implicaciones del uso del *e-learning* en el proceso de aprendizaje con falencias tales como: la ausencia de interacción física y la dificultad de algunos por el autoaprendizaje. De igual manera, se establece la perspectiva de los distintos agentes de la educación en línea como docentes y estudiantes, sobre los entornos virtuales en su proceso de enseñanza y aprendizaje, respectivamente, los cuales presentan diversas implicaciones en el resultado, contrastándolos con la

educação presencial tradicional, que si bien es adecuada, está en obsolescencia, pues presenta un rezago frente al uso de las tecnologías de la información y la integración con los recursos didácticos novedosos. Para finalizar, se presentan los resultados de la proyección de una capacitación virtual en robótica sobre un EVA en Moodle, que contrasta con los resultados obtenidos de cursos de *e-learning*.

Palabras clave: *entornos virtuales de aprendizaje, e-learning, robótica educativa.*

Abstract

Currently, virtual education represents the future in the development of the academy, given the benefits it holds regarding time-space difficulties, thus, the development of EVA has contributed to the training of students who previously did not have the possibility to be educated in topics that were not as affordable as robotics, however, it is important to denote the implications of the use of e-learning in the learning process with shortcomings such as: the absence of physical interaction and the difficulty of some for self-learning. Likewise, the perspective of the different agents of online education as teachers and students is established, on the virtual environments in their teaching and learning process respectively; which present diverse implications in the result, contrasting them with the traditional face-to-face education, that although it is adequate, it is in obsolescence, since it presents a backwardness in front of the use of the information technologies and the integration with the new didactic resources. Finally, the results of the projection of a virtual robotics training on an EVA in Moodle are presented, which contrasts with the results obtained from E-Learning courses.

Keywords: *E-Learning, Educational robotics, Virtual learning environments.*

Resumo

Atualmente, a educação virtual representa o futuro no desenvolvimento da academia, tendo em vista os benefícios que ela oferece em relação às dificuldades de espaço-tempo, assim, o desenvolvimento do EVA tem contribuído para a formação de alunos que anteriormente não tinham a possibilidade de ser educados, questões que não eram tão acessíveis como robótica, no entanto, é importante notar as implicações do uso do *e-learning* no processo de aprendizagem com deficiências, tais como a ausência de interação física e da dificuldade de alguns por auto-aprendizagem. Da mesma forma, estabelece-se a perspectiva dos diferentes agentes da educação on-line como professores e alunos, nos ambientes virtuais em seus processos de ensino e aprendizagem, respectivamente; que tem várias implicações no resultado, contrastando com a educação em sala de aula tradicional, que embora adequados, é obsoleto, porque apresenta um atraso em relação ao uso da tecnologia da informação e integração com recursos de ensino inovadoras. Por fim, são apresentados os resultados da projeção de um treinamento de robótica virtual em um EVA no Moodle, o que contrasta com os resultados obtidos nos cursos de *E-learning*.

Palavras chave: *Ambientes virtuais de aprendizagem, E-learning, Robótica educacional.*

1. Introducción

Es importante reconocer la evolución de la sociedad y, por ende, un cambio en sus necesidades acorde con los avances tecnológicos que se han generado. Desafortunadamente el sistema educativo se ha visto rezagado a los menesteres de la academia y ha excluido la era digital de su didáctica. No obstante, con la aparición del *e-learning* o aprendizaje electrónico en los años 2000 y 2003, surgen nuevas formas de enseñanza sin barreras tiempo-espaciales, la facilidad en el proceso enseñanza-aprendizaje, la economía en la inversión de recursos didácticos y recursos físicos, el equipamiento y planta prescindibles, entre otros beneficios. Esta situación ha venido motivando una creciente incursión de los medios digitales para procesos educativos como apoyo a la labor docente y soporte en el aprendizaje de los estudiantes, facilitando la asimilación de información, gracias a la gran variedad de recursos digitales dispuestos para tal propósito (Marcelo et al., 2002).

2. Marco teórico

En pleno siglo XXI, con el auge de una era digital cada vez más amplia y sin ningún tipo de limitación, surgen interrogantes sobre los procedimientos tradicionales en cualquier área del saber, incluso la educación. Si bien es cierto que los métodos de enseñanza convencionales representan formas ortodoxas de impartir conocimientos a los jóvenes, hoy en día no presentan resultados tan exitosos como lo hacían 20 años atrás (García, 2001).

2.1. EVA (*Entornos Virtuales de Aprendizaje*)

La educación virtualizada no solo ha generado acceso a la educación a grupos poblacionales vulnerables, que por tiempo o dinero no contaban con la posibilidad de acceder al conocimiento, sino, también, se ha constituido como un apoyo para las clases presenciales, de forma que los recursos didácticos como foros,

chat, talleres, mensajería instantánea, entre otras, facilitan la comprensión de una temática dada (Martínez, 2005).

Un ambiente virtual de aprendizaje refiere al espacio físico donde las nuevas tecnologías se potencializan, rebasando el entorno escolar tradicional que favorece al conocimiento y su apropiación mediante experiencias pedagógico-comunicacionales, reemplazadas por un espacio virtual colmado de recursos multimedia que ofrecen una experiencia sensorial mayor (Ávila, 2001).

Esta nueva modalidad, más conocida como entornos virtuales de aprendizaje (EVA por su sigla en español, o en inglés VLE - *Virtual Learning Enviroment*), permite la concepción de un ambiente digital colmado de recursos multimedia e interactivos sobre un tema específico. Los entornos virtuales de aprendizaje constituyen una forma totalmente nueva de tecnología educativa y ofrecen una compleja serie de oportunidades y tareas a las instituciones de enseñanza de todo el mundo (Unesco, 2007).

Sin duda los EVA representan un importante avance tecnológico enfocado a la educación, proporcionando acercamientos de la comunidad a la información, mediante sencillos elementos y recursos que facilitan el proceso de aprendizaje. Para los estudiantes se constituye como una oportunidad de crecimiento intelectual autónomo, en la cual pueden asimilar información a través de los medios dispuestos por el docente. Dicha perspectiva del usuario final, quien resulta ser el protagonista del proceso, puede generar algunas contradicciones por situaciones a las que no está habituado, como la falta de contacto e interacción con pares, entre otras contravenciones. En este sentido, Martínez (2010) afirma:

En general, se muestra una reticencia a pasar de la formación tradicional a un nuevo modelo de formación. Además, se tiende a pensar que la enseñanza virtual se limita a imitar las clases presenciales utilizando los medios de los que se dispone. Sin embargo, los diferentes actores involucrados (alumnos y profesores) deberían afrontar la enseñanza virtual no como un modo de imitar la enseñanza tradicional, sino como una nueva forma de aprendizaje, aprovechando las nuevas capacidades que ofre-

cen las redes de información y cambiando la forma de enseñar actual, tomando una parte más activa el alumno en su proceso de formación y no limitándose a actuar como mero receptor de información.

Además de las contravenciones existentes en la implementación de la educación virtual en cualquier área del conocimiento, surge un dilema mayor en la proyección de una capacitación de robótica, dados los retos que sugiere el desarrollo de una actividad netamente práctica, en la cual se requiere de forma permanente realizar actividades guiadas o *supervisadas* para montajes funcionales. En este sentido es fundamental establecer los diferentes puntos de vista de los actores del EVA.

2.2. EVA en el aprendizaje de robótica desde la perspectiva del estudiante

Pese a ciertos inconformismos del alumno y su nivel de resistencia a los cambios en su proceso de aprendizaje, es fundamental recabar sobre los esfuerzos de los docentes por mitigar la brecha del proceso de enseñanza y mejorar la experiencia para los alumnos, de modo que puedan obtener el mejor provecho de interactuar en un EVA y así apropiarse de su formación. Dentro de estas estrategias se evidencia el desarrollo de contenido atractivo, tutorizar las clases, trabajo colaborativo con expertos en estrategias *e-learning*, compartir contenidos, uso adecuado de las redes sociales y proyectar temas novedosos, entre otras técnicas que pretenden minimizar la brecha entre estudiantes y el *e-learning* (Escámez, 2016).

Por esta razón se vio la necesidad de incorporar temáticas tecnológicas, contenidos digitales con información novedosa, innovadora y atractiva, que normalmente no se oferta con frecuencia en las instituciones, para aprovechar así los ambientes virtuales, dando acceso a las poblaciones vulnerables a contenidos de aprendizaje como la *robótica*; un tema que en la actualidad está tomando cada vez más espacio en las aulas de clase, para apoderarse del interés de los jóvenes por conocimientos tradicionales como la física y las matemáticas. En este sentido, resulta

atractivo dar a conocer la robótica mediante un entorno virtual de aprendizaje adecuado para facilitar su comprensión y, por qué no, la construcción de simples modelos robóticos hasta sofisticados sistemas, según lo desee. Se trata de garantizar a la comunidad el acceso al conocimiento de la forma más sencilla posible.

No obstante, se identifican falencias potenciales que pueden obstruir el libre desarrollo del proceso de aprendizaje de los alumnos, con desventajas propias de la educación en línea y que se ven potencializadas en capacitaciones de robótica dada su naturaleza práctica y la necesidad por desarrollar actividades guiadas. Soane y García (2009) señalan que dentro de estos hándicaps se encuentran:

- La necesidad de los estudiantes por *aprender a aprender*, dado que es el primer reto al que se deben enfrentar los estudiantes para adquirir las destrezas necesarias en su proceso formativo. Es decir, los alumnos deben ser metódicos organizados y contar con habilidades de aprendizaje autónomo, cualidades que no todos poseen.
- Sensación de soledad, impersonalidad o asilamiento, dada la carencia de contacto personal y la evidente transformación de los procesos de socialización.
- Otro factor, aunque menos probable según los beneficios actuales, radica en la falta de acceso a Internet para suscribir los contenidos, o el acceso a un equipo de cómputo.
- Falta de calidad en los contenidos presentados, ya que deben adaptarse con el diseño institucional, entre otras convenciones.
- Resistencia al cambio: todo cambio produce resistencia y aún más cuando se modifican métodos o procesos tradicionales.
- Sensación de abandono del docente, dado que en actividades de origen práctico no siente el mismo nivel de acompañamiento.

Las anteriores anotaciones determinan falencias inevitables en el proceso de formación virtual, no obstante, se ven acrecentadas cuando se trata de la enseñanza de contenidos prácticos como la robótica, siendo este un tema tan experimental, práctico, funcional, en el cual el estudiante presenta ansiedad dada su necesidad por contar con la guía permanente de su docente, quien le indique paso a paso las acciones por seguir para lograr la funcionalidad de los montajes o sistemas realizados. Esta situación se puede mitigar a través del uso correcto de los recursos, así como el dominio de las herramientas TIC para el desarrollo de contenidos altamente interactivos que suplan en gran medida la presencia permanente del docente en el proceso de evolución de un prototipo robótico. Con esto en mente, se ofrece la posibilidad de crear, construir y diseñar sistemas sin necesidad de salir de casa (Delgado, 2005).

Si bien es cierto que la interacción personal no puede ser reemplazada, es importante recordar el objetivo de la educación virtual, centrada principalmente en brindar herramientas al proceso formativo para facilitar el aprendizaje, así como dar acceso a la educación a población marginada, en temas de interés sin barreras tiempo-espaciales.

2.3. EVA en la enseñanza de robótica desde la perspectiva docente

Los docentes se han esforzado por brindar soluciones efectivas a las problemáticas propias de la educación, en particular para optimizar el proceso de enseñanza de la robótica a través del uso de las EVA, sin afectar el resultado; es decir, que un alumno esté en plena capacidad de crear un prototipo robótico por sus propios medios, soportado en los recursos dispuestos por el docente en el entorno virtual de aprendizaje, mitigando posibles temores alrededor de los mitos de la enseñanza virtual y promoviendo procesos de aprendizaje autónomo.

Cabe resaltar que los entornos virtuales no solo consisten en la carga *online* de un curso con sus respectivas guías y talleres, se trata de la conjugación de interactividad, recursos y actividades

de aprendizaje estructuradas sobre una plataforma virtual, que según su objetivo pueden seleccionarse: portales de distribución de contenidos, entornos de trabajo en grupo o de colaboración, sistema de gestión de contenidos (LMS) y sistemas de gestión de conocimientos (CMS), entre otros. Los docentes se preocupan constantemente por diseñar, crear y construir elementos sugerentes e innovadores que capten la atención de los estudiantes y también cumplan con el propósito principal: *enseñar* nuevos conocimientos a través de diversos recursos (Belloch, 2012). Sin embargo, los maestros se han sobrepuesto a las dificultades presentadas en el camino de promover conocimientos a través de medios digitales cuyas generaciones ofrecen cierto nivel de resistencia a las nuevas formas del conocimiento.

Una de las técnicas desarrolladas en la virtualización de entornos educativos es la técnica de Metaplan, considerada también como una metodología de moderación grupal que facilita a través de las técnicas de visualización la obtención de resultados en diferentes campos de acción, como los siguientes:

- Toma de decisiones participativas.
- Planificación.
- Diagnóstico de necesidades.
- Evaluaciones grupales.
- *Feedback*.
- Procesos de enseñanza y aprendizaje.
- Debates.
- Talleres.

La técnica Metaplan incorpora el método mayéutico, inductivo, por lo que se obtiene gran interactividad entre los participantes, y mediante una pregunta que requiera razón propia los integrantes se verán obligados a involucrarse con la información y los demás integrantes para debatirla. A nivel de virtualidad, este método ha proporcionado importantes resultados para los docentes, posibilitando continuamente la integración de los alumnos con los demás estudiantes, rompiendo una de las principales desventajas del *e-learning* que consiste en la imposibilidad de

interactuar de forma cercana con otros o la carencia del trabajo colaborativo (Madoz et al., 2008).

La técnica Metaplan sin duda promueve un trabajo colaborativo esencial para el óptimo desarrollo de actividades prácticas, ya que promueve el debate, la interacción, el intercambio de ideas y la comunicación, entre otros dinanismos necesarios para el desarrollo de sistemas robóticos funcionales, mitigando una de las principales desventajas de la formación virtual.

Desde el punto de vista de la socialización personal, se debe destacar la disposición de herramientas TIC que facilitan la interacción por medios virtuales, sin descuidar el proceso formativo del estudiante ni la necesidad de compartir con otros, como se menciona con la técnica Metaplan. También es fundamental recalcar uno de los beneficios de trabajar por medio de entornos virtuales, no solo para los docentes sino para la comunidad en general, dado el alcance de este tipo de educación, pues facilita la formación masiva de alumnos por las plataformas dispuestas, llegando a más personas en diferentes lugares del mundo.

2.4. Enseñanza de la robótica: EVA vs. entornos de aprendizaje convencionales

A partir del eterno debate sobre los beneficios y las desventajas que ofrece la educación virtual para docentes y estudiantes según su punto de vista, surge el interrogante sobre cuál de los entornos de aprendizaje ofrece mayores beneficios: si el presencial o el virtual. Se debe establecer que los dos presentan ventajas y desventajas, pero la elección del más apropiado depende particularmente de las necesidades de cada persona. Por ejemplo, algunos alumnos tienen dificultades en el desplazamiento por lo que los entornos virtuales son la mejor opción; otros tienen conflictos con el aprendizaje autónomo por lo que los entornos tradicionales representan una excelente elección.

Los métodos tradicionales de enseñanza están sujetos a factores como la adecuación física, uso de servicios públicos costosos, altos costos de desplazamiento de los estudiantes, dificultad

para ejecutar otras actividades dados los estrictos horarios de estudio, currículos poco flexibles, clases magistrales monótonas, escasos recursos digitales, exclusión de las tecnologías de la información en el aula e incluso desactualización en algunos temas. Estas son varias de las razones que dieron origen a la formación virtual que, si bien rompe con los paradigmas tradicionales, representa un desafío en infraestructura y enseñanza para las instituciones, convirtiéndose en la educación del futuro, según lo definen las cifras. Un ejemplo de ello se muestra en 2015, cuando el Gobierno nacional de Colombia prestó un singular interés por la formación virtual y, en alianza con la corporación Renata y el Politécnico Gran Colombiano, convocó a la comunidad y las instituciones a participar en la creación de la primera Estrategia Nacional de Educación Superior Virtual.

Según datos del Ministerio de Educación Nacional, la educación en modalidad virtual tuvo una tasa de crecimiento del 13,6 % en 2011, 90 % en 2014 y 98,9 % en 2016. Cifras que evidencian la preferencia de los estudiantes por los entornos virtuales de aprendizaje para su proceso formativo y académico. Sobre el estudio aplicado por la institución universitaria Politécnico Gran Colombiano, determina los porcentajes de participación de la población en educación presencial y virtual como se muestra a continuación (Díaz, 2018).

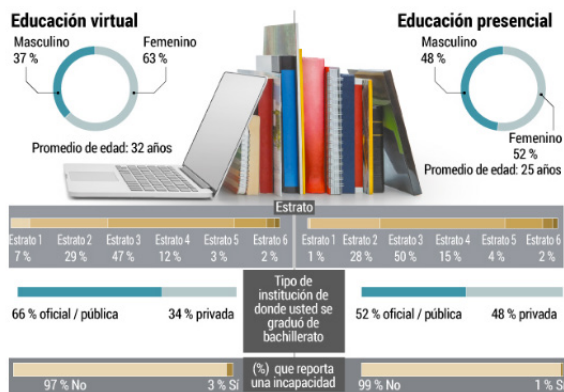


Figura 1. Estudio de porcentajes de educación virtual y presencial.

Fuente: Instituto Politécnico Gran Colombiano.

De la anterior imagen se destaca que las edades que optan por la educación virtual oscilan entre los 20 y 30 años de edad, y los más participativos son la clase media (estrato 3). Se presenta una mayor incidencia en las instituciones públicas y, en términos generales, se evidencia un aumento representativo de la educación virtual, con muy buenos resultados.

Sin más, se exponen las principales características de los dos entornos virtuales y se deja a consideración del lector seleccionar el más indicado según diversos factores; no obstante, no se debe olvidar que en pleno siglo XXI, el 70 % de los estudiantes prefiere el aprendizaje mediante entornos virtuales por las flexibilidades de horarios y espacios que ofrece, proveyendo una opción de formación que no interfiera con actividades como el trabajo y sus estrictos horarios y costes de desplazamiento. En el cuadro 1 se muestran los pro y contra de la educación virtual y presencial en cuanto al acceso de determinados recursos que precisa el estudiante.

Cuadro 1. Contraste entre la educación virtual y presencial desde la visión del estudiante frente al uso de recursos TIC y disponibilidad de acceso a estos.

Elementos	Educación virtual	Educación presencial
Instalaciones físicas	X	?
Computador	?	X
Servicio de Internet	?	X
Costos de desplazamiento	X	?
Horarios estrictos	X	?
Contacto personal	X	?
Trabajo en equipo	?	?
Recursos digitales	?	X

Elementos	Educación virtual	Educación presencial
Uso de TIC	☑	☑
Tiempo extra en preparación de clases	☑	X
Aprendizaje autónomo	☑	X

Fuente: elaboración propia.

Los datos anteriores solo reflejan diferentes factores que permiten determinar la pertinencia de una modalidad de educación virtual frente a una convencional, dado que sus ventajas o desventajas se ven delimitadas por las necesidades particulares de los alumnos.

En el caso específico de la robótica surge un factor más trascendental y preocupante: *el acompañamiento* en procesos de desarrollo, diseño y construcción de sistemas robóticos, teniendo en cuenta la complejidad que implica el tema en sí, acrecentado por estudiarse en forma virtual, pues el estudiante tiende a presentar un sentimiento de rechazo, frustración y soledad sin importar la cantidad de recursos dispuesto para su aprovechamiento. Esta situación puede afectar gravemente al docente en su intento de generar conocimiento por medios digitales, perjudicando su prestigio como consecuencia de la desmotivación del estudiante en línea, hasta llegar al abandono, que por lo general acusa al facilitador del aprendizaje o generador de conocimiento cuya responsabilidad, dentro de los agentes de la formación virtual, recae completamente sobre el maestro. En este sentido, Borges (2005) afirma:

Sin embargo, los agentes de la formación en línea (estudiantes, docentes, instituciones) en un momento dado se percatan de que no basta con cursar formación, proporcionar o disponer de un entorno virtual de aprendizaje, un material de aprendizaje y un tutor o formador que conozca la materia. Existen, además, otros elementos, unos que hay que incorporar y otros que es preciso evitar, que influyen en gran medida en cómo se siente el estu-

dianter más allá de los recursos, y en cómo percibe que su aprendizaje sea adecuado y a la vez satisfactorio.

Los elementos o acciones que originen frustración, desilusión o agobio en el estudiante en línea son de la mayor importancia, ya que pueden causar el abandono del estudiante (Conrad, 2002), repercutir en su graduación tardía, afectar negativamente a la fidelización del estudiante (Tresman, 2002), afectar negativamente a la percepción que el estudiante tenga de la formación en línea, de la institución educativa o de ambas cosas, originar el rechazo de la formación en línea como fórmula válida de aprendizaje y de mejora personal, de lo que se deriven consecuencias para su formación continua y avance social, disminuir la retribución del docente en línea, perjudicar la financiación y la consideración social de la institución (Tresman, 2002).

Para dar solución efectiva y permanente a la frustración generada en la capacitación de robótica, es indispensable que los agentes que intervienen en el proceso formativo virtual reevalúen las estrategias aplicadas, inviertan mayor tiempo dedicado al proceso, realicen trabajos colaborativos, aprovechen los canales de ayuda dispuestos en línea, la actualización permanente del docente, un nivel alto de respuesta a los estudiantes por medios digitales, proporcionar flexibilidad curricular en el diseño de los contenidos, proveer mayor claridad en las indicaciones, ofrecer ayuda técnica permanente de la institución, inversión del organismo en capacitación docente sobre manejo adecuado de las TIC, y orientación y apoyo al estudiante, solo por mencionar algunas de las estrategias que pueden marcar la diferencia sobre la deserción o aceptación de un estudiante de la educación virtual para el aprendizaje de robótica (Borges, 2005).

Estas habilidades requeridas se desarrollan mediante una alfabetización tecnológica a todos los agentes de la educación virtual, de modo que permitan desarrollar conocimientos y habilidades instrumentales y cognitivas que hagan de este proceso una experiencia agradable pero, más importante, exitosa. Así lo expresa la Federación de Enseñanza de Andalucía (2010):

Cada vez se hace más patente la necesidad de que todas las personas dispongan de unos conocimientos aceptables informáticos ya que el uso de estas herramientas está presente en todos los aspectos de nuestra vida, tanto social como económica, profesional y educativa, pero ¿todos debemos ser técnicos en esa materia?, evidentemente no se trata de eso, pero sí de determinar qué es lo que se debe aprender para el uso adecuado de los medios tecnológicos.

2.5. Moodle y un EVA para la enseñanza de robótica

Identificadas las falencias y los aspectos por mejorar a través de procesos de alfabetización tecnológica, es indispensable establecer la herramienta más eficiente para el desarrollo de Entornos Virtuales de Aprendizaje. Si bien Moodle (*Modular Object Oriented Dynamic Learning Environment*) es un entorno virtual basado en el uso de objetos virtuales para el diseño de cursos y capacitaciones en línea, es la herramienta más representativa utilizada en la educación social constructivista, sumado al fácil acceso por ser un instrumento gratuito y de cómodo manejo.

Moodle permite cargar objetos virtuales de aprendizaje en la plataforma y en servidores en la nube, de modo que proporciona almacenamiento ilimitado a los recursos que el docente quiere usar. También ofrece vínculos para la fácil elaboración de recursos digitales para la enseñanza. Carmona (2013) sostiene que

Moodle desde su nacimiento, ofrece numerosas ventajas para la docencia, debido a que brinda opciones para desarrollar destrezas, competencias, comunicación y cooperación en una comunidad virtual, por ser un medio de código abierto, licencia libre y distribución gratuita, día a día la herramienta está en constante mejora.

El uso de la plataforma Moodle para impartir capacitaciones en robótica cada vez es mayor, dados sus beneficios y facilidades en la construcción de recursos digitales, didácticos e interactivos. Como lo manifiesta Rosado (2008), existen pocas experiencias en el campo de la programación de robots sobre *e-learning*, para

lograr controlarlos a través de Internet. Permiten el acceso a un simulador virtual del robot, pero no al robot físico. Desarrollos similares propusieron un sistema robótico para un sistema no industrializado y mediante una interfaz poco estandarizada a través de múltiples conexiones y recursos digitales, haciendo prácticas de laboratorio estandarizadas y autoevaluables. En este sentido, Arenas (2016) afirma que:

Las nuevas corrientes pedagógicas y el avance de los medios de información privilegian la utilización de las TIC como herramientas de apoyo en las diferentes disciplinas del conocimiento, lo que conlleva un aprendizaje más dinámico en los estudiantes. En este sentido, la construcción de un Entorno Virtual de Enseñanza-Aprendizaje (EVEA) permitió que el docente, educador-mediador, contara con una herramienta de apoyo que facilitó la construcción de un proyecto lúdico de robótica educativa para despertar la curiosidad, la creatividad y la innovación en los estudiantes.

A su vez se imparten conocimientos elementales a los estudiantes de física, mecánica, electrónica y matemáticas que pese a ser nativos digitales, presentan un grado mínimo de dificultad pues exigen constancia y autonomía, a lo cual no están habituados por los métodos tradicionales. A pesar de a esto, el desarrollo de actividades y ambientes virtuales de aprendizaje garantizan la comprensión del estudiante por la robótica, mediante recursos digitales y estrategias didácticas que orientan el proceso de enseñanza.

Para que el uso de la plataforma Moodle sea eficiente, teniendo en cuenta las barreras que presentan los modelos de educación virtual ya mencionados, es importante apoyar el desarrollo de herramientas y recursos TIC en *métodos instruccionales* que mediante guías de trabajo permiten a los estudiantes desarrollar enfoques de aprendizaje en robótica, basados en teorías y, como su nombre lo indica, orientado por *instrucciones*, como es el *Modelo Praddie* que dentro de su estructura emplea seis etapas fundamentales: preanálisis, análisis, diseño, desarrollo, implementación y evaluación, las cuales mediante pasos detallados

orientan al alumno sobre el desarrollo de un prototipo robótico, explicando minuciosamente las actividades por desarrollar, elementos entre otros detalles para orientar al estudiante sobre la construcción del sistema, soportado en las herramientas que ofrece Moodle.

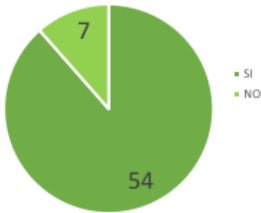
2.6. Desarrollo de competencias de estudiantes gracias a los EVA en robótica

Ya estudiadas las desventajas de la educación virtual, cabe resaltar sus beneficios, sobre la formación de los estudiantes y su evolución con respecto a otros en el método tradicional. La educación virtual en robótica permite generar y promover el desarrollo de un método científico en el alumno y producir motivación por áreas del saber como las matemáticas y la física, entre otras.

Las anteriores conclusiones se determinan, dados los resultados obtenidos en la proyección de capacitación en robótica, a través de nueve fases diferentes orientadas a estudiantes de básica secundaria de colegios públicos y privados de la región sabana centro de Bogotá. De estas nueve fases, cinco fueron presenciales y cuatro virtuales sobre la plataforma Moodle. De las 33 instituciones educativas participantes, solo dos colegios cursaron las nueve fases de robótica orientadas sobre diferentes tecnologías y temáticas en robótica educativa, y siete cursaron la modalidad virtual; sin embargo, se recabó información pertinente sobre el impacto de la educación *online* en la enseñanza de robótica.

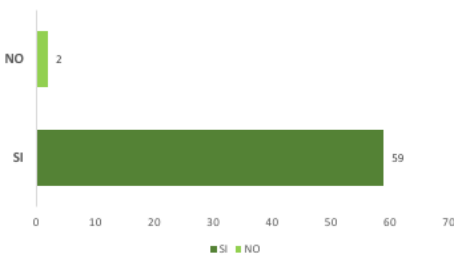
En este sentido, se anexa la tabulación de la información extraída de las encuestas aplicadas a estudiantes de básica secundaria, quienes participaron en la formación virtual y presencial o solo virtual; para las cuatro fases virtuales proyectadas participaron un total de siete instituciones educativas, 52 estudiantes y nueve docentes. A continuación, la tabulación de los datos recolectados:

¿Comprende fácilmente los temas cargados en la plataforma Moodle para el armado de un robot utilitario?



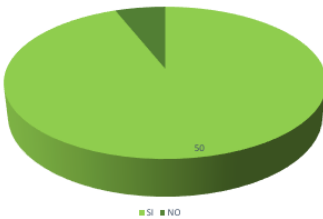
Un total de 54 participantes (docentes/estudiantes) consideran comprensibles los contenidos cargados en la plataforma Moodle.

¿Son claras las guías de trabajo incluidas en la plataforma Moodle?



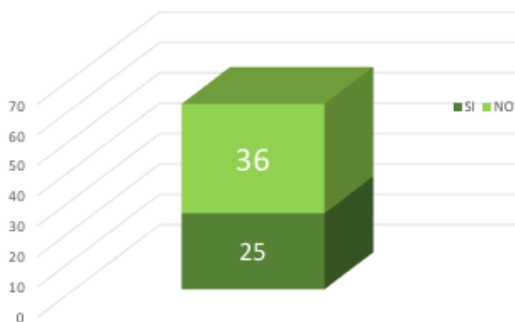
Un 96 % considera que las guías de trabajo son propicias para el desarrollo de las actividades que se pretenden realizar en robótica.

¿Considera suficientes los recursos cargados en la plataforma para la comprensión de un tema?



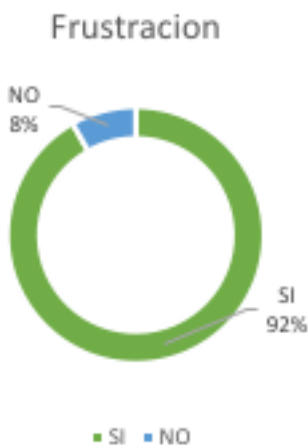
Once personas consideran que los recursos dispuestos en el entorno virtual no son suficientes para la comprensión del tema de robótica, lo cual evidencia la resistencia de los estudiantes por métodos virtuales, sin embargo, la mayor parte consideró pertinente los recursos dispuestos.

¿Se ha sentido agobiado en algún momento de la capacitación al desarrollar una actividad?



Las cifras dejan en evidencia que en algún momento de la capacitación han sentido un sentimiento de ansiedad frente al desarrollo de las tareas propuestas en elevado, lo cual resulta completamente natural, teniendo en cuenta que inician con un proceso de aprendizaje autónomo, sin la presencia de un docente.

¿Ha experimentado frustración en alguna etapa de la capacitación? ¿Cuál?



Pese a las desventajas expuestas desde la perspectiva del estudiante, esta pregunta resume en gran medida lo que experimentan los alumnos en el estudio de la robótica en la modalidad virtual, dado que un 92 % de los participantes presentan un sentimiento de frustración frente a una etapa específica de su formación virtual; no obstante, resultó una sorpresa pues el sentimiento no está presente en la etapa de *construcción* del robot (la cual se considera la de mayor complejidad), sino en la etapa final correspondiente a las *pruebas*.

El contexto presencial consiste en el acompañamiento docente al estudiante para evidenciar el trabajo final y presentar las felicitaciones respectivas por su buen trabajo, empeño y esfuerzo, sin embargo, estas acciones se ven limitadas dado el origen virtual de la capacitación, eliminando una parte fundamental de la interacción docente-estudiante y, por supuesto, un elemento de formación emocional para contribuir con la autoestima del alumno.

Finalmente, tras cuatro cursos de capacitación virtual en robótica orientada a más de 60 personas, se deduce que aún se presentan inconformidades con el modelo de educación en línea sobre entornos virtuales de aprendizaje; no obstante, los agentes involucrados en el proceso han presentado importantes esfuerzos por adaptarse y sacar el mayor provecho. No se deben desconocer las desventajas del modelo virtual, pero es importante generar continuamente estrategias que mitiguen dichos riesgos en pro de promover el conocimiento aprovechando las nuevas tecnologías de la información.

3. Conclusiones

Un EVA posibilita la selección del camino de aprendizaje más fácil para los estudiantes según sus particularidades, sin barreras tiempo-espaciales, a través de los diferentes medios digitales, didácticos y multimedia, además de otros recursos que harán de su experiencia de aprendizaje un proceso sencillo.

Pese a las barreras que presenta el modelo de educación virtual apoyado en EVA, resulta de vital importancia que los docentes y estudiantes trabajen conjuntamente con el objetivo de reducir dicha brecha entre la resistencia y el temor por incursionar en nuevos paradigmas educativos apoyados en las tecnologías de la información.

La educación virtual en robótica presenta aún mayores retos para los docentes, al ser un componente altamente práctico que requiere técnicas instruccionales detalladas que garanticen el éxito de los proyectos desarrollados y, por ende, la comprensión de los temas tratados.

El desarrollo de herramientas didácticas virtuales para la construcción de un entorno virtual de aprendizaje en robótica presenta importantes retos, por lo que se debe tener presente generar diversos recursos que promuevan el trabajo colaborativo y el autoaprendizaje, entre otros factores, que determinan el logro de los objetivos en el estudiante.

4. Referencias bibliográficas

- Arenas, A. (2016). *La robótica en el espacio virtual. Implementación de un ambiente b-learning para el aprendizaje de la robótica educativa en el instituto colombo-sueco*. Recuperado de <https://www.compartiralabramaestra.org/alianza-gimnasio-campestre-compartir/la-robotica-en-el-espacio-virtual>
- Ávila, P. y Bosco, M. D. (2001). *Virtual environment for learning a new experience*. Recuperado de http://investigacion.ilce.edu.mx/panel_control/doc/c37ambientes.pdf
- Belloch, C. (2012). *Entornos Virtuales de Aprendizaje*. España: Unidad de Tecnología Educativa (UTE), Universidad de Valencia.
- Boneu, J. M. (2007). Plataformas abiertas de e-learning para el soporte de contenidos educativos abiertos. *RUSC, Universities & Knowledge Society Journal*, 4(1). doi: <http://dx.doi.org/10.7238/rusc.v4i1.298>
- Borges, F. (2005). La frustración del estudiante en línea. Causas y acciones preventivas. *Digithum*, (7). doi: <http://dx.doi.org/10.7238/d.v0i7.536>
- Carmona, J. (2013). *Moodle una plataforma de aprendizaje virtual a distancia*. Facultad de Educación UCR.
- Delgado, S. (2005). *Innovaciones en e-learning*. España: Universidad a Distancia de Madrid.
- Díaz, S., M. (2018). *Una educación cada vez menos física. En Colombia el modelo de educación virtual ha crecido 98,9 %*. El Espectador. Recuperado de <https://www.elespectador.com/noticias/educacion/una-educacion-cada-vez-menos-fisica-articulo-735695>.

- Escámez, M. (2016). *Estrategias e-learning: 5 formas infalibles para motivar a los alumnos online*. Baética. Recuperado de <https://baetica.es/estrategias-e-learning-para-motivar-alumnos/>
- Federación de Enseñanza de Andalucía. (2010). La alfabetización tecnológica. *Temas para la Educación, revista digital para profesionales de la enseñanza*, (9). Recuperado de <https://www.feandalucia.ccoo.es/docuipdf.aspx?d=7332&s=>
- García, L. (2001). *La educación a distancia. De la teoría a la práctica*. Barcelona: Ariel Educación.
- Madoz, C., González, A., Florencia, M., y Hughes, D. (2008). *Virtualización sobre un entorno de enseñanza y aprendizaje de métodos de trabajo colaborativo*. Argentina: Instituto de Investigación en Informática, Universidad Nacional de La Plata. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/18425/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Marcelo, C., Puente, D., Ballesteros, M. y Palazón, A. (2002). *E-Learning-Teleformación. Diseño y desarrollo de la formación a través de Internet*. Barcelona: Gestión 2000.
- Márquez, J. y Ruiz, J. (2014). Robótica educativa aplicada a la enseñanza básica secundaria. Universidad de Cundinamarca. *Revista DIM (Didáctica, Innovación y Multimedia)*, 10(30). Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/DIM/article/viewFile/291518/379999>.
- Martínez, E. (2005). *La mejora de la calidad en la educación mediante entornos virtuales de aprendizaje*. (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena, España).
- Martínez, E. (2010). E-Learning: un análisis desde el punto de vista del alumno. *RIED, Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 11(2), 151-168. doi: <https://doi.org/10.5944/ried.2.11.948>
- Rosado, A. Muñoz, M, y Magdalena, R. (2008). Herramienta de e-learning para la programación de robots mediante entorno web. *Revista d'innovació educativa*, (1), 45-48. España: Universidad de Valencia. Recuperado de <http://ojs.uv.es/index.php/attic/article/view/48>

Seoane, A., y García, F. (2009). *Introducción al E-Learning. Ventajas e inconvenientes*. GRIAL (Grupo de Investigación en Interacción y E-Learning). España: Universidad de Salamanca.

Visión general sobre el estado de la educación superior en Colombia

Overview on the status of higher education in Colombia

Visão geral sobre o estado do ensino superior na Colômbia

Jairo Eduardo Márquez Díaz

Universidad de Cundinamarca,
Facultad de Ingeniería de Sistemas, Chía (Colombia).
jemarquez@ucundinamarca.edu.co.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6118-3865>

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo mostrar, de forma general, el estado de la educación superior en cuanto a políticas de financiamiento, calidad, cobertura e investigación, al igual que el papel que desempeñan el Ministerio de Educación Nacional y Colciencias en este sentido, en el que se discute sus funciones y actuar frente a un sistema que requiere ser atendido sobre problemáticas en cuanto a igualdad y gobernabilidad de las universidades públicas. También se expone el reto que tiene el Estado y la educación superior a dar solución sobre el estatus y tratamiento normativo de la educación terciaria, la educación virtual y a distancia que, a pesar de su crecimiento exponencial, aún no hay propuestas y soluciones claras en este sentido. De igual manera, se hace mención sobre la deserción académica y de su impacto negativo en determinadas carreras profesionales y técnicas, exponiendo las vulnerabilidades a las que está expuesta la educación superior y su potencial impacto negativo en el desarrollo de capital humano calificado. Para finalizar, se realiza una reflexión acerca de las proyecciones y discrepancias existentes sobre las políticas del Estado frente

al Plan Nacional de Desarrollo y su repercusión en procesos críticos para la nación como son la ciencia, la tecnología y la investigación.

Palabras clave: *calidad de la educación, cobertura, deserción académica, educación superior, educación a distancia y virtual, investigación y desarrollo.*

Abstract

The purpose of this article is to show, in a general way, the state of higher education in terms of financing, quality, coverage and research policies, as well as the role played by the Ministry of National Education and Colciencias in this regard, in which its functions are discussed and to act in front of a system that needs to be attended to on problems regarding equality and governability of public universities. Also, it exposes the challenge that the State and higher education have to solve the status and normative treatment of tertiary education, virtual and distance education that, despite its exponential growth, there are still no clear proposals and solutions in this sense. Likewise, mention is made of the academic dropout and its negative impact on certain professional and technical careers, exposing the vulnerabilities to which higher education is exposed and its potential negative impact on the development of qualified human capital. Finally, a reflection is made on the projections and discrepancies existing on the policies of the State against the National Development Plan and its impact on critical processes for the nation such as science, technology and research.

Keyword: *Academic Dropout, Coverage, Distance and virtual education, Higher education, Quality of education, Research and Development.*

Resumo

Este artigo tem como objetivo mostrar geralmente o estado como políticas de financiamento do ensino superior, qualidade, cobertura e pesquisa, bem como o papel do Ministério da Educação Nacional e Colciencias a este respeito, que suas funções são discutidas e atuam diante de um sistema que precisa ser atendido em problemas de igualdade e governabilidade das universidades públicas o desafio para o estado e acima fornecer uma solução sobre o estado e tratamento regulatório do ensino superior, educação virtual e distância, embora seu crescimento exponencial, embora há propostas e soluções claras educação também expõe esse sentido. Da mesma forma, menciona-se a evasão acadêmica e seu impacto negativo em determinadas carreiras profissionais e técnicas, expondo as vulnerabilidades a que o ensino superior está exposto e seu potencial impacto negativo no desenvolvimento de capital humano qualificado. Por fim, faz-se uma reflexão sobre as projeções e discrepâncias existentes nas políticas do Estado em relação ao Plano Nacional de Desenvolvimento e seu impacto nos processos críticos para a nação, como ciência, tecnologia e pesquisa.

Palavras chave: *Qualidade da educação, Cobertura abandono acadêmico, Educação superior, Distância e educação virtual, Investigação e desenvolvimento.*

1. Introducción

La educación superior en Colombia ha venido presentando cambios en diversos contextos, en calidad, cobertura, acceso y servicios para todo el territorio colombiano. Estos cambios obedecen a las reformas en la educación propendidas por el Estado, a través del Ministerio de Educación Nacional (MEN) mediante las Leyes 30 de 1992, 115 de 1994 y 489 de 1998, el Decreto 1295 de 2002 y la Ley 1188, entre otros, tendientes a mejorar no solo la calidad de la educación, sino también reducir la desigualdad en la escolarización propendiendo por la equidad e inclusión y atención a la diversidad, a dar mayor realce a la profesión docente, tanto en los salarios, como en su clasificación y profesionalización, entre otros aspectos. A lo anterior, se suman los Acuerdos 02 y 03 de 2017, aprobados por el Consejo Nacional de Educación Superior (CESU); el primero hace referencia a la política pública para el mejoramiento del Gobierno en las Instituciones de Educación Superior (IES); el segundo, amplía de 4 a 6 años el tiempo mínimo de acreditación institucional y la flexibilización de la acreditación multicampus, que facilita a las IES la gestión de acreditación por sedes.

Los resultados que se han obtenido hasta ahora son el aumento de IES en todo el país, cuyo incremento de matrículas es destacable, aunque se prevé que estas entren en declive por los altos costos en los próximos años. De igual manera, ha crecido el número de programas de especialización, maestrías y doctorados, que buscan responder a las necesidades propias de desarrollo del conocimiento de la sociedad colombiana y del mundo globalizado en materia de investigación, desarrollo e innovación, que impactan directamente al sector económico, industrial y de producción de la nación, mediante el aporte de capital humano calificado.

En términos generales se han cumplido parcialmente los alcances antes citados, pero aún se presentan diversos problemas críticos en cuanto a gestión y administración institucional relacionados con la descentralización, cobertura y deserción, a los que se suma la problemática creciente de los educandos que entran a las IES con grandes deficiencias académicas y salen de estas al mercado

laboral con un grado de preparación paupérrimo en algunos casos. Esta afirmación aplica tanto para IES privadas como públicas, estas últimas salpicadas por la politiquería, los malos manejos de recursos públicos y corrupción, que socaban el ya erosionado sistema educativo universitario. En este sentido, el concepto de calidad de la educación es cuestionable (Ardila, 2011), por lo que se ha planteado que debe realizarse una reforma al sistema de aseguramiento de calidad, en el cual el problema que se observa al respecto no es tanto el cambio de ley, sino la falta de transparencia y buen gobierno que se le atribuye a la Comisión Nacional Intersectorial de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CONACES), sobre la cual han recaído procesos judiciales hasta la fecha de redacción del presente artículo.

En el panorama expuesto, qué se puede esperar cuando se escucha al MEN y otras entidades estatales hablar de calidad, cuando la corrupción y el clientelismo abundan por doquier. Lo peor del asunto es que no se observa una solución pronta a este problema, ya que el MEN y Colciencias tienen la tarea de reestructurar todo el CONACES, pero este proceso está supeditado a las decisiones que tome el gobierno de turno, mientras tanto las IES deben estar subordinadas a sus salas, que han demostrado ser poco eficientes, operativas, funcionales y transparentes en sus tareas a la hora de aprobar o renovar los registros calificados y los procesos de acreditación.

Aunque, como afirman Cristian Bellei et al., (2013), en el ámbito de las políticas para la educación superior, se ha intentado construir —con diverso nivel de concreción—, sistemas de acreditación y aseguramiento de la calidad que permitan una gestión coordinada de un conjunto de instituciones cada vez más heterogéneo y diferenciado. El actuar del MEN en conjunto con el CONACES dan a entender otra cosa, yendo en contra de las políticas de innovación y autonomía propios de la academia. Es por ello, que en el presente documento se exponen un par de casos en los que se observa que se debe reevaluar el actuar de los entes reguladores de la educación, máxime cuando las políticas gubernamentales quieren una Colombia ciento por ciento educada.

2. Reto de la educación superior

El reto que debe asumir la educación en todos los niveles y modalidades en Colombia es vasto y complejo, puesto que deben tomarse en cuenta diversos aspectos socioculturales, políticos, financieros, técnicos y tecnológicos, no solo en el contexto nacional, sino internacional, puesto que los estándares de calidad de la educación ya se miden a escala global. Ejemplo de ello tenemos a la OIE-Unesco (Unesco, 2017; Muskin, 2015), el Banco Mundial (León, 2012) y la Oede (2016). Esto implica que el término calidad de la educación no solo involucra conocimiento y lo que atañe a este, sino también establece mejorar la cobertura, igualdad, equidad y calidad de vida de la sociedad, que va desde crear vías de acceso de los centros urbanos o rurales a los lugares más apartados y recónditos, pasando por crear políticas que propendan por la productividad de la industria nacional por medio del emprendimiento y, por ende, a la generación de empleo, hasta la atención y mejora de la salud pública. En este sentido, se recomienda consultar el estudio acerca de la demanda de educación superior proyectada hasta 2025 por Tenjo (2012), en el que expone de manera detallada la estimación de la demanda por servicios educativos de pregrado y posgrado en el país, en la que, como van las cosas, es improbable que se cumplan en su totalidad los objetivos planteados.

Los cambios socioculturales y económicos son la base del desarrollo de cualquier nación, que involucran directamente los aspectos citados anteriormente, en la cual presentan un vínculo muy estrecho con la educación superior y con todo lo que ella encierra, tales como: la ciencia, la tecnología y el emprendimiento, que impulsan la investigación, el desarrollo y la innovación, y todo aquello que implique obtener capital humano, clave para la economía de un país. Estos elementos señalados presentan un gran reto para el Gobierno colombiano en cuanto a la operatividad, máxime en instituciones de educación públicas, en las cuales el déficit y los recortes presupuestales, la corrupción y los malos manejos de los recursos financieros son un factor común, que han

puesto en vilo programas académicos y recurso humano docente e investigativo claves para la creación de nuevo conocimiento.

Pensar en cobertura y calidad de la educación no solo se manifiesta en disponer de una buena infraestructura física, laboratorios, maestros calificados, currículos ideales y becas, entre otros elementos, que son fundamentales por supuesto, sino en la preparación de calidad de aquellas personas que van a llevar las riendas de la sociedad, en particular en materia de ciencia y tecnología, y en el desarrollo técnico y tecnológico del país. Esto lleva a pensar que las IES deben contar con programas de maestría y doctorado acordes con las necesidades propias de la región y la nación, que de hecho son una de las directrices que está impulsando el Gobierno desde hace algunos años.

Al observar el plano real sobre los estudios a nivel superior, quienes pueden realizar una maestría o un doctorado en Colombia necesariamente deben estar becados, claro está si se desea aplicar a una IES de prestigio, con acreditación de alta calidad. Por ejemplo, pagar un doctorado del propio bolsillo de un profesional le cuesta mucho más que una vivienda de interés social, lo cual es absurdo, máxime cuando se piensa que al integrarse al plano laboral el retorno de la inversión puede ser a mediano o largo plazo, esto claro está, si se ubica en universidades o empresas que le reconozcan su trabajo, siempre y cuando demuestre que ha realizado proyectos de investigación y posea producción académica. El pago para profesionales especialistas no está definido, por lo que cada IES tiene su propia métrica salarial al respecto, por lo tanto, son muy pocas las universidades que reconocen de manera significativa salarios dignos a profesionales altamente calificados.

Un aspecto que llama la atención, es que, aunque existe un programa de becas otorgadas por Colciencias para profesionales que lo deseen, no alcanza para la demanda actual, máxime cuando el Gobierno aspira a que el país sea el más educado de Latinoamérica para 2025 (Baena, 2017). Lo crítico de este asunto es que la inversión para los próximos años en este tema no es buena, y prueba de ello es que el presupuesto general que se desti-

nó para ciencia, tecnología y educación en 2018 es menor que el empleado para 2017 (Sáenz, 2017). Aunque hubo un aumento del 9 % en 2019, debido a peticiones conjuntas de estudiantes y educadores de IES públicas, los problemas de inflación y deuda externa a futuro que presenta el país no prometen que la inversión se incremente.

Otro reto sobre el cual las IES están haciendo esfuerzos es acerca del aumento de cupos para los egresados de bachillerato, en particular para aquellos de escasos recursos económicos. Según cifras del MEN, con corte a agosto de 2015, solo el 41,2 % de los estudiantes de colegios oficiales y el 56,4 % de no oficiales, para una tasa de 48,5 %, aparecen en los registros de absorción a la educación superior (Malaver, 2016). Según estas cifras, Colombia está por debajo de la cobertura comparada con otros países de Latinoamérica, y a la fecha no han cambiado mucho; de hecho, se ha venido agudizando el problema de los cupos, bien por el dinero que invierte el Estado en los estudiantes para cubrir sus estudios y el dinero que se pierde debido a la deserción académica, aunque muchas IES argumentan que esta afirmación no es cierta porque muchos estudiantes aplazan.

También el cumplimiento de las metas de cobertura se ve obstaculizado debido a los altos costos de matrícula semestral, que están muy por encima del promedio de ingreso familiar, a lo que se suma que las oportunidades de acceso a la educación superior están concentradas en las grandes ciudades de la parte central del país y la zona andina (Alvarado y Calderón, 2013).

Detrás de este panorama, se cuestiona la calidad del sistema planteado; aunque es indiscutible que se benefician muchos estudiantes de escasos recursos, no es ningún misterio que la politiquería y la corrupción han hecho mella en este sistema, socavando sus principios, en el que se roba literalmente el cupo a aquellos estudiantes que verdaderamente lo necesitan, por lo que se observa que no hay un control claro al respecto y muchos recursos financieros prácticamente se pierden o van a manos inescrupulosas.

Un antecedente relacionado con la ayuda a estudiantes por parte del Estado es la iniciativa denominada Ser Pilo Paga, que se planteó como una oportunidad a estudiantes por ser becados para realizar sus estudios a nivel superior, todo gracias a su excelente desempeño académico durante la secundaria y el examen de Estado. La bondad de este programa es que los estudiantes aplicaban a las mejores universidades del país y además contaban con subsidios de sostenimiento que oscilaban entre uno y cuatro salarios mínimos por semestre. La problemática actual de limitación de recursos financieros a las IES públicas surge porque algunos detractores argumentan que el déficit presupuestal que se está viviendo actualmente, que asciende a 16 billones de pesos, es por culpa del programa Ser Pilo Paga porque el Estado lo ha invertido en él.

Frente a lo anteriormente expuesto, en su momento la viceministra de Educación Superior, Natalia Ruiz Rodgers, afirmó que este déficit trae un acumulado que aumenta por el régimen prescricional de los docentes, y que no tiene techo, ya que hay 9 mil docentes de las universidades públicas con salario de enganche muy bajo, y hay 100 docentes con más de 30 millones de salario (El Observatorio de la Universidad Colombiana, 2017). Aunque esto sea cierto o no, no puede atribuirse la culpa a que el déficit obedezca a los docentes; hay un trasfondo sobre el uso racional, gestión y administración de los recursos financieros que no están yendo a donde deberían ir o al menos parte de él, sumado a una falta de control claro sobre lo que está sucediendo con el mencionado programa, tanto por parte del Estado como por las propias instituciones involucradas en el proceso.

Otro aspecto adicional a lo anterior es que un gran porcentaje de recursos financieros del programa Ser Pilo Paga se ha ido a las universidades privadas, las cuales se han beneficiado con los cobros de matrícula plena sin ningún tipo de descuento y, entre tanto, la mayoría de universidades públicas reciben un porcentaje desproporcionalmente bajo, a lo que se suma que no todas pueden participar en la captación de este tipo de recurso, lo que ha demostrado ser totalmente inequitativo y parcializado.

Cabe mencionar que, aunque el programa era relativamente nuevo y brindaba oportunidades a los *pilos*, no estaba definido como una política de Estado, por lo que fue terminado en el segundo semestre de 2018, y fue reemplazado por el programa Generación E en el gobierno de Iván Duque, en el cual el cambio subyace, como señala *El Tiempo* (2018):

El reconocimiento de costos que les dé las mismas oportunidades a las universidades públicas y a las privadas, en las que el Estado financia el ciento por ciento de la matrícula y la manutención de los estudiantes que entren a instituciones públicas; mientras que, en el caso de las privadas, el programa asume el 50 por ciento, la institución un 25 por ciento y el 25 por ciento restante se financiará con donaciones privadas.

De todos modos ya hay un dinero que deberá pagarse a las IES por sus servicios *a posteriori*, por lo cual estas no pierden en este proceso por varios años.

2.1. Normalizar la educación virtual y a distancia

En Colombia se presenta un fenómeno atípico acerca de la educación virtual en el marco legal. Según el Consejo Nacional de Acreditación (CNA) (Ramírez et al., 2012), actualmente no se ha reglamentado nada en particular sobre este tema, quedando un vacío conceptual y jurídico que le dé alguna identidad al trabajo que se desarrolla en la educación a distancia y virtual por parte de algunas IES. Como se aprecia, la cita es de hace siete años y aún se mantiene vigente a la fecha de la redacción del presente artículo.

El CNA ha expresado siempre que el concepto de educación a distancia es muy variado, dadas las diversas experiencias que se han venido desarrollando no solamente en el país, sino en el mundo (Silva, 2013). Sin embargo, se ha venido trabajando en una propuesta conceptual para el Decreto Reglamentario de los estándares mínimos de calidad para la oferta de programas en esta modalidad. Conforme a esta afirmación, es claro que hasta la fecha no existe una normatividad exclusiva que regule y esta-

blezca las directrices en cuanto al aval y los procedimientos que los diversos programas de esta modalidad deben realizar, bien sea en cuanto a la preparación de los currículos y del personal docente, como en el uso adecuado de las herramientas tecnológicas para su praxis académica y de una infraestructura mínima de operación, entre otros elementos, que garanticen la cobertura y calidad de la educación impartida.

Con base en lo anterior, surge la pregunta ¿cómo se aprueban los programas de educación a distancia y virtual? Estos se aprueban según lineamientos establecidos en el Decreto 1295 de 2010, que está concebido para la educación presencial. De igual manera, se amparan con la Ley 30 de 1992, que permite organizar el servicio público de educación superior, en su artículo 15: “Los programas académicos pueden ser ofrecidos conforme a la metodología de estudio presencial o a distancia”.

Como complemento a la Ley 30 está el Decreto 2566 de 2003, que hace referencia a las condiciones mínimas de calidad, créditos académicos, registro calificado de programas y demás aspectos para la apertura de programas, en la que se indican, de manera explícita y general en el artículo 4, parágrafo 10, los programas a distancia.

El artículo 4 fue modificado por el Decreto 2170 de 2005, que exige a estos programas el uso apropiado de las metodologías y pedagogías enmarcadas en las competencias y el aprendizaje autónomo. Posteriormente, se expide la Resolución 2755 de 2006 (Matallana y Zamudio, 2011), que profundiza más acerca de los derechos y deberes de la educación a distancia, en cuanto a la metodología y pedagogía, ambientes de aprendizaje, etc. Luego se deroga el artículo 1 del Decreto 2566 y se expide la Ley 1188 de 2008, cuya reglamentación tuvo un largo y difícil debate, en el que hubo varios puntos de discrepancia (Facundo, 2010, p. 15). Por ejemplo, la falta de claridad en los aspectos pedagógicos y metodológicos que deben ajustarse a este tipo de educación. En contraposición a la educación tradicional, en realidad al consultar estas normas las diferencias son mínimas, quizás en el énfasis en la parte metodológica.

Para finalizar este segmento, la Constitución Política de Colombia contempla la autonomía universitaria, por consiguiente, las IES en su propia autonomía pueden plantear sus propuestas de nuevos programas en modalidad virtual o a distancia. En consecuencia de lo afirmado anteriormente, el hecho de que las IES propongan sus programas en estas modalidades, no implica necesariamente que estos van a ser avalados por el Ministerio de Educación Nacional. La razón se fundamenta en la falta de claridad normativa y conocimiento administrativo de estas, por lo cual quedan en entredicho las garantías que puede dar el MEN en cuanto a acceder a dar el aval con el argumento de calidad. Por lo anterior, se citan dos casos muy puntuales y recientes al respecto, que muestran la disyuntiva con la que se encuentran las IES a la hora de proponer nuevos programas a distancia o virtuales en la actualidad, cuando se redactó el presente artículo:

2.2. Caso Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

La educación virtual a nivel de las IES en Colombia presenta una serie de inconvenientes de carácter legislativo, en el cual el MEN a veces se excede en sus procedimientos de inspección y vigilancia (Ley 1740 de 2014) versus autonomía universitaria (Ley 30 de 1992), en la que se busca en primera instancia dirimir conflictos relacionados con las condiciones de calidad y operación de estas instituciones. El problema de fondo radica en la falta de tacto que se tiene en sancionar a las IES ante la sociedad, sometiéndolas al escarnio público, sin respetar el debido proceso en cuanto a tener las pruebas suficientes antes de emitir algún tipo de juicio o fallo. En cuanto a la autonomía universitaria, establece en uno de sus párrafos que las IES tienen derecho al autogobierno, el problema está cuando se interpreta o valora mal la ley, aplicando erróneamente sus disposiciones, dañando de facto a una institución en cuanto a su reputación y servicios que presta a la comunidad.

Un caso ocurrido en 2016 sobre este aspecto fue el exceso desmedido del MEN en relación con la Universidad Nacional Abierta

y a Distancia (UNAD), en la que hubo una restricción de autonomía y cuestionamiento sobre un estatuto interno de esta institución, vulnerando de esta manera su autonomía, independencia y autogobierno. En respuesta ante el Ministerio, la UNAD interpuso una demanda por vulnerar su derecho conforme a la Ley 30 de 1992, en la cual el Consejo de Estado falló a su favor en abril de 2017, en la que se argumentó que el MEN hizo caso omiso de la defensa de esta IES.

¿Por qué se trae a colación este caso? La UNAD presta sus servicios de educación a distancia desde 1981, los cuales se han expandido fuera del país, en Estados Unidos, en particular en Florida, cuya sede es conocida como UNAD Florida. El servicio que presta esta universidad es importante para la comunidad colombiana y latina, pero esta IES presenta graves problemas internos, empezando por su parte administrativa, desde el rector hasta los maestros, pasando por su sindicato (ASPU), que ha derivado en el declive de matrículas por la deserción masificada de estudiantes, a lo que se sumaron los deficientes procesos de investigación y el bajo desempeño de los estudiantes en las pruebas de Estado Saber Pro.

La UNAD al ser una institución pública fue víctima en su momento de malos manejos financieros y administrativos que la llevaron a un declive progresivo en sus servicios, por lo que levantó opositores en las altas esferas, como el propio MEN. De ahí que se presume que la sanción fue más por presión de carácter político que administrativo, lo cual no es raro, ya que existen alegatos frente a la postura poco ecuánime de determinados grupos de personas pertenecientes al MEN, que asumen posiciones cerradas frente a ciertos casos que no se ajustan a sus criterios.

El actuar expuesto no es nuevo, pues no es ningún secreto que las IES públicas (y algunas privadas) están salpicadas por el clientelismo y la corrupción, en los cuales ciertos sectores opositores aprovechan la oportunidad de dañar la imagen de las instituciones sin miramiento alguno, cuando estas exponen o muestran sus vulnerabilidades, ya que se sienten amparadas por las altas esferas políticas o por vacíos legales que avalan su proceder.

Hay otro tipo de corrupción que también hace mella en las IES públicas, que está relacionado directamente con la comunidad académica y administrativa, en la cual este fenómeno se manifiesta en un sinnúmero de oportunidades, tales como: la financiación de proyectos de gestión o administración pública, sistemas de información a través de la manipulación de datos, contratación de profesores y administrativos (generado más por favores políticos que por necesidades académicas) cuyo nivel de preparación y profesionalismo es discutible, gestión (traslados y promociones no justificables), acreditación institucional irregular, que se manifiesta a través de sobornos, y fraude, entre otros.

Todos los elementos nombrados convergen en el detrimento de la calidad de la educación, que derivan en un mal servicio e imagen de esta, que involucra no solo a las IES públicas, sino a todas las instituciones en general. Se recomienda consultar el mapa de las oportunidades de corrupción en el sector educativo (Hallak y Poisson, 2010), que permite ampliar más sobre el tema. De igual manera se recomienda consultar acerca de la corrupción pública en Colombia (Martínez y Ramírez, 2010; Martínez y Ramírez, 2006; Ungar, s. f.).

Aunque el caso de la UNAD se ha solucionado, no se puede decir lo mismo de otras universidades del país como Uniatlántico, Unillanos, Unicartagena, Uniguajira, Unisinú, Unicjao, Uniautónoma del Caribe y Universidad Incca, entre otras instituciones investigadas, que están o han estado en la lupa tanto del MEN como de la Fiscalía General de la Nación, cuyos escándalos van desde lo financiero, pasando por malas gestiones administrativas o gobernabilidad, hasta corrupción, clientelismo y acoso. Esto demuestra la fragilidad en la que se encuentra la educación superior pública en la actualidad, en la cual los recursos del Estado se esfuman y la calidad educativa y el servicio son cuestionables.

2.3. Caso carrera a distancia de Derecho en Colombia

Existen antecedentes de varias IES en crear programas de Derecho en la modalidad a distancia o virtual, pero hasta la fecha

no ha sido posible que se les dé el aval por parte del MEN, pese a que el Decreto 1075 de 2015 no invalida en ningún momento la creación de este tipo de programa académico. ¿Entonces por qué se negó en su momento el aval? El primer obstáculo surge en cuanto a validar las condiciones de calidad de registro calificado del programa, porque no se ajusta de manera ideal a los programas presenciales.

Un segundo obstáculo son los miembros de la sala de CONACES y los pares académicos encargados de revisar estos programas, quienes no están muy de acuerdo con aprobarlos a través de argumentos poco claros, viciados por criterios personales, abonados por intereses particulares y prejuicios relacionados con el propio modelo educativo, pasando por alto la normatividad acerca de la autonomía universitaria. Lo extraño de este proceder es que existen antecedentes de países latinoamericanos en los que se demuestra la viabilidad del programa de Derecho. Un aspecto para reflexionar es que se evidencia que IES extranjeras ofertan este programa en la modalidad virtual en Colombia, aun sin una titulación oficial y currículos aprobados.

En términos generales existen antecedentes de gremios como CONACES y el propio CNA, que no ven con buenos ojos la implementación de la educación virtual y a distancia en las IES, y aunque existen antecedentes que han frenado varios programas, en la actualidad funcionan aproximadamente más de mil en diversos campos del saber. ¿Por qué la negativa de dar aval al pregrado en Derecho? La respuesta dada por los opositores es que al ser un programa a distancia, se pierden un par de componentes clave para la formación de un abogado, y es la oralidad y los escenarios para las prácticas que implican la presencialidad e interacción con el maestro y demás estudiantes. Como se aprecia, estos dos argumentos son bastante sesgados ya que las TIC abonan el terreno para dar solución a estos escenarios.

Lo que se advierte por parte de las IES afectadas es que existen prejuicios e intereses más de carácter político y clientelista, en los cuales las universidades que ofertan este programa en modalidad presencial ven diezmado el índice de estudiantes matri-

culados. Lo cierto de este panorama es que se les está negando la oportunidad a miles de personas que, por diversas razones, no les es posible asistir de manera presencial a una IES para realizar sus estudios en Derecho, máxime cuando el país requiere de este tipo de profesionales en sus juzgados apoyando la justicia y los “nuevos escenarios del posconflicto que demandan necesariamente la adopción de nuevos mecanismos de paz, justicia y reparación” (El Observatorio de la Universidad Colombiana, 2017).

Una de las IES que ha pasado la propuesta del programa a distancia de Derecho es la UNAD, con miras a establecer un antecedente al respecto ante el MEN y demás estamentos jurídicos, con el especial interés que estos cambien de criterio y apoyen esta iniciativa para que la propuesta se consolide en una realidad dentro de poco tiempo. Solo el tiempo lo dirá, si la renuencia del Estado se mantiene acerca de dar el aval a este programa o no, que hasta la fecha (2019) no ha sido aprobado.

Lo interesante de la dinámica que presenta la UNAD ante el Estado sobre el programa en mención, es que da pie a otras universidades interesadas en ampliar o incursionar en la educación a distancia o virtual, al igual que a proponer programas acordes con las necesidades propias de la región y del país, y perseverar en sus esfuerzos pese a la reticencia de algunos entes del Estado.

2.4. La educación virtual y a distancia

Desde hace más de una década aproximadamente se han venido dando propuestas por diversas organizaciones educativas acerca de ampliar la cobertura de la educación superior a través de la creación de programas de educación virtual y a distancia en todo el país, donde los gobiernos de turno literalmente le han hecho el quite al respecto. Según datos del MEN, el número de matrículas de educación superior modalidad virtual se incrementó desde 2011 (13,6 %) hasta 2014 (90 %), en 2015 la tasa se moderó y en 2016 volvió a repuntar hasta un 98,9 % (Díaz, 2019). Estos datos dan cuenta de la expansión de esta modalidad no solo en Colombia sino en toda Latinoamérica.

¿Cuál es el argumento de oponerse a la masificación de la educación virtual y a distancia en el país? La respuesta que no solo se extiende a Colombia, sino a otros países, es que la oferta de los programas en esta modalidad presenta irregularidades en cuanto a las condiciones de equidad, a la baja calidad en algunos programas, a la matrícula de gran cantidad de estudiantes por su bajo costo y la certificación de estos por un desarrollo académico pobre y poco estructurado. Vista la educación virtual y a distancia desde este esquema (El Observatorio de la Universidad Colombiana, 2017), la pertinencia y el nivel educativo deja mucho que desear, empezando por el uso inadecuado o inexistente de herramientas apropiadas para tal fin, currículos mal planteados o diseñados, a lo que se suma la no preparación del personal docente y remuneración no acorde con los estándares de esta modalidad. Este es un fenómeno que no solo tiene que ver con Colombia sino con toda América Latina y el Caribe (Facundo, 2009, p. 17).

Para el caso de Colombia, debido a la reticencia y por qué no decirlo la terquedad por parte de ciertos sectores gubernamentales, muchas IES extranjeras han aprovechado el bache jurídico que existe en el país sobre la creación de programas en modalidad virtual o a distancia, ofertando programas de esta índole, perdiendo terreno las IES nacionales, y se evidencia que el control del Estado es deficiente al respecto, tanto en evaluar la calidad de los programas, como en garantizar que el servicio que se presta cumple con los lineamientos del MEN. Cabe mencionar, que existe la Circular 21 del 27 de septiembre de 2004, en la que se establecen las opciones para aquellas IES que desean ofrecer programas presenciales o a distancia en Colombia, tales como: adquirir el reconocimiento como IES de acuerdo con la normativa vigente, o por la suscripción de un convenio con una IES colombiana para obtener el registro calificado. Aun con estas opciones, en realidad muchas IES de educación a distancia y virtuales extranjeras no se han acogido a esta circular y, aun así, la convalidación es factible en la mayoría de casos.

Como dato adicional, para el caso de las convalidaciones el estudiante o profesional graduado debe ceñirse a la Resolución 5547 del 1 de diciembre de 2005. Esta resolución define el trámite y

los requisitos para la convalidación de títulos otorgados por instituciones de educación superior extranjeras o por instituciones legalmente reconocidas por la autoridad competente en el respectivo país, para expedir títulos de educación superior. Al leer esta resolución no aparece en ninguna parte un tema específico sobre la educación a distancia o virtual, lo cual supone que se aplica la misma métrica usada con la educación tradicional para convalidar. En el portal del MEN, se define y explica lo que se entiende por educación a distancia y virtual, y cuáles son los requisitos para tener en cuenta a la hora de convalidar el título, al igual que los costos por este trámite, que superan el medio millón de pesos y tarda entre dos y cuatro meses para que le den respuesta a su petición.

Gremios como la Asociación Colombiana de Educación Superior a Distancia (ACESAD) y diversas IES que trabajan en educación a distancia y virtual, han venido promoviendo sus programas ante el MEN, que aun con toda su renuencia han logrado consolidar su respectivo registro calificado. La tendencia es al crecimiento de estos programas, y lo que se espera dentro de unos años es que aumente la oferta de las especializaciones y en menor cuantía las maestrías; por el momento pensar en doctorados a distancia es una utopía. En este sentido, en el Congreso Mundial de Educación a Distancia Virtual celebrado en Bogotá en mayo de 2017, expertos mundiales llamaron la atención al Gobierno colombiano acerca de fomentar esta modalidad de educación mediante políticas claras y concisas, incluyendo por supuesto nuevos modelos pedagógicos acordes con las metodologías y tecnologías emergentes aplicadas en este contexto.

De lo anterior se infiere, como señala Corica (2012), que el nuevo paradigma derivado de la incorporación de las TIC que se expresa en la educación virtual, como modalidad educativa, se está generalizando con mucha rapidez en América Latina, en el marco de diversas resistencias asociadas con la tradicional dinámica educativa y la forma en la cual se introducen socialmente segmentadas las innovaciones tecnológicas. Lo cierto de todo esto es que, como expresa García (2017),

Las causas que catapultan las propuestas educativas a distancia están supeditadas a ciertos aspectos clave como: apertura, flexibilidad, eficacia, inclusión/democratización, economía, formación permanente, motivación e iniciativa, privacidad, individualización, interactividad e interacción, aprendizaje activo, socialización, autocontrol, macroinformación, gestión de la información, inmediatez, innovación, permanencia, multiformatos, multidireccionalidad, ubicuidad, libertad de edición y difusión, acceso a la calidad e interdisciplinariedad.

Por consiguiente, la retórica de la educación presencial en las IES no puede seguir tomándose como eje central del conocimiento, incluso con el argumento que la educación a distancia y virtual son de poca calidad, ya que no se puede generalizar al respecto, esto cuando existen instituciones que hacen bien su labor de diseñar o planificar sus programas conforme a estas modalidades, realizando un seguimiento periódico de estos, incorporando nuevas herramientas TIC para su quehacer académico, preparando a sus docentes para este tipo de escenarios y garantizando con ello que quienes se inscriban a estos, se les brinde un servicio de calidad, tanto técnico como tecnológico, proyectado a que el futuro profesional salga preparado para el mundo laboral.

2.5. Calidad de la educación

La calidad de la educación debe presentar un cambio de raíz, que permita garantizar a la sociedad que los futuros profesionales serán unas personas íntegras con conocimientos profundos, valores y experticia que les posibilite afrontar los retos que les propone la sociedad, en la que su rol como capital humano aporte al desarrollo y la economía de una nación. Para llegar a esta meta, el Gobierno colombiano ha invertido recursos económicos sustanciales, centrando sus esfuerzos en mejorar la calidad de la educación superior. Es por ello, que se suele hablar de reforzar el sistema de aseguramiento de calidad en las IES y demás niveles de formación existentes en el país, lo que conlleva que estas se comprometan a garantizar un servicio acorde con las necesidades de la comunidad, la región, el departamento y la nación.

La calidad de la educación maneja una retórica enmarcada en la Ley 1740 de 2014, de inspección y vigilancia, sobre la cual las IES deben ceñirse, por la cual literalmente están obligadas a modernizar su estructura física y todo lo que ello implica, además, propender por generar investigación que permita dar soluciones a las diversas problemáticas propias de la región y del país y, finalmente, que los servicios que brinda las IES amplíen su cobertura sin desmejorar su calidad.

Observando el plano real sobre la implementación de la Ley 1740, existen diversas problemáticas de las IES e instituciones terciarias respecto de las pautas para su acreditación de alta calidad y registro calificado, acerca de la oferta de programas presenciales como a distancia que se ajusten a las políticas establecidas por el MEN, cuando no hay claridad sobre ciertas directrices para tal fin, por ejemplo, el Decreto 2219 de 2014 y la Ley 1740 de 2014. (Se sugiere consultar el artículo *Peligrosas interpretaciones legales sobre la autonomía universitaria* de El Observatorio de la Universidad Colombiana, (2017).

Otro problema que se observa, es que a algunas instituciones técnicas e IES que ofrecen este servicio, no les interesa mucho la calidad de sus egresados, y en las cuales al parecer se aplica el concepto que el técnico solo necesita lo necesario para su profesión y nada más, a lo que se ha llegado a denominar como *educar para ser obreros*, dejando de lado el aprendizaje de las ciencias básicas, por considerarse poco prácticas y efímeras al ser llevadas a la realidad diaria.

Tal como se plantean las políticas de registro calificado y acreditación de alta calidad, estas deben ser revaluadas, y los distintos estamentos que regulan la educación superior deben establecer unas reglas claras al respecto en un esquema de neutralidad porque existen casos de influencias políticas y corrupción que vician las evaluaciones a ciertas IES cuyo actuar académico es deficiente. Un problema coyuntural es acerca de los recursos financieros fruto de la reforma tributaria que se asignan a las IES públicas, en la que se debe establecer un control más estricto en cuanto al uso racional de estos, para que no se presenten casos como los citados anteriormente.

2.6. Cobertura vs. calidad

Un estudio publicado por el International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank (2017) afirma que el número de estudiantes se duplicó en América Latina y el Caribe entre 2000 y 2013, y ahora hay más de 20 millones en 10 mil instituciones de educación superior y terciarias con diversos programas ofertados. Esto supone una expansión muy rápida de la educación superior en un periodo relativamente corto. En este contexto, se evalúa la equidad, la calidad y las diversas ofertas educativas que las IES y otros niveles de formación ofrecen a la comunidad, y de cómo la demanda influye en la expansión de estas instituciones (Ferreira et al., 2017).

Del estudio en mención, se extrae una serie de elementos que conllevan evaluar la pertinencia de la labor de las IES y de las instituciones terciarias en educación de un país, y uno de ellos es la calidad. Para el caso particular de Colombia, en la actualidad diversos estamentos gubernamentales discuten acerca de la calidad de la educación impartida a los futuros profesionales ya que al parecer no responde a la demanda laboral del país en cuanto a la mano de obra calificada que requiere. Aunque se han dado grandes pasos en mejorar la calidad de la educación, tanto técnica como profesional, aún falta solventar problemáticas relacionadas con la pertinencia de los programas y el impacto de estos llevado al plano laboral, para dar solución a las necesidades propias de la industria y la región.

En cuanto a la oferta laboral, el joven técnico o profesional colombiano tiene oportunidades de entrar al mercado laboral, lo cual es bueno para el crecimiento socioeconómico del país, aunque las diferencias salariales son notorias.

Estos cambios se deben en parte a las oportunidades de acceso a la educación superior a personas de escasos recursos económicos y a las comunidades apartadas de los centros urbanos, cuya demanda se ha venido incrementando con el paso de los años, bien a través del financiamiento que brindan las IES y terciarias o del propio Icetex a través de sus diferentes modalidades de crédito, o de becas, por ejemplo Ser Pilo Paga, para lo cual se recomienda consultar Asmar y Gómez (2016). Lo interesante de esta

dinámica en la educación superior es que los programas a distancia y virtuales han sido un gran apoyo en cuanto a cobertura en las diversas regiones del país.

¿En dónde queda la calidad? Según el estudio del Banco Mundial, aunque ingresa gran cantidad de estudiantes a realizar estudios técnicos o de educación superior, no implica que todos se gradúen, y esto se debe a la alta tasa de deserción, que se entiende como el acto o la acción por la cual un estudiante decide abandonar o desertar de sus obligaciones académicas cancelando su estudio en una determinada asignatura, semestre o carrera. Para Himmel (2013) la deserción hace referencia “al abandono prematuro de un programa de estudios provocado por factores generados tanto al interior del sistema educativo como por la sociedad, familia y entorno, considerando un tiempo suficiente para descartar la posibilidad de una reincorporación por parte del estudiante”.

Para el caso de Colombia, el MEN puso al servicio en 2006 el Sistema SPADIES (Sistema de Prevención y Análisis de la Deserción en las Instituciones de Educación Superior), que toma en consideración la denominada *primera deserción (first drop out)*, es decir, el abandono de un programa académico por dos semestres consecutivos, como un servicio de alerta para que las instituciones tomen medidas para evitarla (Facundo, 2009, p. 19).

Tomando el estudio más reciente realizado por el SPADIES, se muestra en el cuadro 1 la deserción por niveles de formación y semestres de una carrera en general.

Cuadro 1. Deserción por niveles de formación en toda la carrera.

Nivel de formación	Semestre (valores porcentuales)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Técnica profesional	28,80	37,57	43,28	49,21	54,13	56,92	58,25	59,73	60,47	60,84
Tecnológica	24,85	34,59	40,67	44,83	47,88	52,13	54,96	56,49	57,47	58,16
Técnico y tecnológico	26,15	35,57	41,52	46,24	49,87	53,64	55,99	57,48	58,38	58,95
Universitaria	17,99	25,80	30,87	34,61	37,19	39,29	40,87	42,38	43,67	46,05

Fuente: SPADIES Fecha de corte abril de 2016. Adaptado por el autor.

Según estos datos, el nivel de deserción más alto a lo largo de toda la carrera lo encabeza la formación técnica profesional, seguido por el nivel de formación técnico y tecnológico. Casi en el mismo porcentaje que el TyT está el nivel de formación tecnológica. Para el caso del nivel de formación universitaria, el índice es inferior, aunque no deja de ser preocupante, ya que se acerca al 50 % de deserción. Los estudios sobre este tema convergen a la baja calidad de la educación recibida en los estudios de básica primaria y de secundaria y a las propias condiciones socioeconómicas del estudiante, entre otras variables, cuya complejidad es altamente dinámica, tales como factores académicos, individuales e institucionales.

En cuanto a las IES y demás instituciones, también abonan su cuota a la deserción, entendida en el marco de los contenidos y la duración de los programas, al igual que la flexibilidad de estos para brindarle al estudiante la opción de cambio de carrera dado el caso, aun cuando se hable de transversalidad, que en muchas instituciones solo figura en el papel porque en el plano operativo no se demuestra su funcionalidad.

En el cuadro 2 se muestra la tasa de deserción anual de 2015 por Área de Conocimiento y Nivel de Formación, que da un indicativo más claro que la deserción en ciertas áreas del conocimiento es más susceptible que en otras. Cabe aclarar que esta información es la más reciente publicada por el servicio SPADIES, cuando se redactó el presente documento.

Cuadro 2. Tasa de deserción anual 2015-2016 por área de conocimiento y nivel de formación.

Área de conocimiento	Técnica profesional	Tecnológica	Universitaria
Agronomía, veterinaria y afines	26,83 %	17,10 %	10,16 %
Bellas artes	24,57 %	16,83 %	8,90 %
Ciencias de la educación	35,83 %	11,61 %	9,68 %
Ciencias de la salud	30,80 %	13,46 %	5,96 %

Área de conocimiento	Técnica profesional	Tecnológica	Universitaria
Ciencias sociales y humanas	48,52 %	17,16 %	8,86 %
Economía, administración, contaduría y afines	31,44 %	18,66 %	10,05 %
Ingeniería, arquitectura, urbanismo y afines	32,99 %	18,32 %	9,61 %
Matemáticas y ciencias naturales	13,56 %	12,30 %	11,06 %

Fuente: SPADIES. Fecha de corte: abril de 2016.

De lo que se observa en el cuadro, se infiere que la formación técnica profesional sigue encabezando la lista de deserción, seguida por el nivel de formación tecnológica y luego la formación universitaria, en la cual el área de conocimiento con mayor impacto negativo lo encabezan las ciencias sociales y humanas, seguido de las ciencias de la educación y luego la ingeniería y así sucesivamente.

Con base en estos resultados y estudios previos, el Gobierno, a través del MEN, se ha puesto en la tarea de establecer unos parámetros en cuanto a la supervisión y aplicación de las normas, prestando especial interés en factores como la calidad y cobertura en las instituciones de educación, indistinto de su nivel y modalidad, con miras a mejorar la calidad de la educación conforme la ley. En este sentido, algunos puntos se han considerado como aceptables y convenientes para la educación por parte del gremio de docentes, sindicatos e instituciones de educación, tales como el impulso a la educación técnica y tecnológica o los incentivos para estudiantes que lo hacen por medio de préstamos (Herrera de la Hoz, 2011). Aun con este avance, se deben superar varios obstáculos de carácter operativo y legislativo, puesto que hay varios elementos por reevaluar, en los cuales el factor económico es uno de los más delicados, tal como se expone a continuación.

2.7. Plan Nacional de Desarrollo

El Plan Nacional de Desarrollo (PND), expedido mediante la Ley 1753 de 2015, expone un conjunto de políticas encaminadas a crear un desarrollo sostenible con miras a mejorar el bienestar de cada departamento y región del país. Esto porque las condiciones institucionales, geográficas y de violencia han dificultado que los avances sociales, económicos y ambientales logrados por Colombia se distribuyan de manera homogénea a nivel territorial (PND 2014-2018, 2015).

El PND busca cubrir varios aspectos críticos para la sociedad colombiana, en particular para aquellas comunidades alejadas de las ciudades, golpeadas por la violencia del conflicto armado y de grupos al margen de la ley, al igual que comunidades pobres en las cuales los servicios públicos básicos son escasos o inexistentes. Esto conlleva establecer la creación de vías de acceso y la preservación de los recursos naturales con miras al desarrollo y la sostenibilidad, sumado a la implementación de políticas educativas que cumplan con la normativa de *Colombia libre de analfabetismo*.

El PND en cuanto a la educación superior plantea directrices como:

1. *Impulso a la educación terciaria*. Se busca facilitar el acceso a técnicos y tecnólogos a estudios de posgrado.
2. *Marco nacional de cualificaciones*. Es un instrumento para el desarrollo, la clasificación y el reconocimiento de competencias expresadas en términos de conocimientos, habilidades/destrezas y actitudes adquiridas por las personas, conforme a una serie de criterios sobre los niveles de aprendizaje alcanzados (Galvis, 2016).
3. *Mayor cobertura en educación superior*. Se persigue fomentar el acceso a la educación superior a estudiantes de escasos recursos adscritos al SISBÉN, que demuestren un buen desempeño académico, quienes podrán beneficiarse de becas del Icetex y del programa Generación E, que sustituye a Ser Pilo Paga.

4. *Acceso a la educación superior de calidad.* Se crea el Sistema Nacional de Calidad de la Educación Terciaria (SISNACET), cuya función está destinada a optimizar las funciones de evaluación, inspección, vigilancia y control de los servicios que prestan las instituciones de educación terciaria.

Con estas directrices, el PND exigió en algunos de sus puntos, en particular en su artículo 222 de la Ley 1753 de 2015, que todos los programas de licenciatura en el país debían estar acreditados a más tardar a mediados de 2017, y que el Icetex emitiera los créditos solo a las IES y los programas que estuvieran acreditados. Estas exigencias buscaban que la calidad de la educación aumentara pero, llevado a la realidad, las cosas han sido diferentes, empezando porque muchos programas de licenciatura literalmente se encuentran estancados; por ende, pensar en acreditación de alta calidad está fuera de contexto. Las razones son varias, que van desde deficiencias en la parte operativa, de gestión y administración de estos programas, hasta la carencia de recursos financieros, puesto que acreditar un programa requiere de una fuerte inversión por parte de las IES. El resultado de esto es que muchos programas de licenciatura perdieron su registro calificado.

Por las razones citadas, el MEN extendió el plazo a 32 meses mediante el Decreto 892 de mayo de 2017, pero solo para aquellos programas ofrecidos en departamentos priorizados en el Programa de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET), aunque hubo excepciones. Para ello se puede consultar el documento digital titulado *MinEducación extiende 32 meses plazo para que algunas licenciaturas se acrediten obligatoriamente* (El Observatorio de la Universidad Colombiana, 2017). En cuanto a los créditos, muchas IES e instituciones terciarias cuestionan este actuar del Icetex, en la que se argumenta discriminación en cuanto a la asignación de recursos para aquellos estudiantes que por alguna razón no están inscritos en IES acreditadas, ya que quedan automáticamente por fuera de esta oportunidad de financiación, hecho que se ratificó en 2018, por lo que miles de jóvenes quedaron excluidos sin posibilidad alguna.

Como dato adicional, según informe del MEN (2018), en el país las instituciones acreditadas en total son 49, que representan tan solo un 16,7 % del total de instituciones, que para los programas de pregrado acreditados a julio de 2017 eran 957, es decir, un 15 % del total y 136 programas de posgrado, lo que disminuye la proporción a un poco más del 5 %. Lo que muestran estas cifras es que debe ser revaluado el papel que está desarrollando el MEN y demás instituciones adscritas, por lo que surgió la propuesta de un nuevo Sistema de Aseguramiento de la Calidad (SAC), el cual entró en vigencia a finales de 2018, no sin antes generar acaloradas discusiones entre las IES y el MEN.

2.8. Políticas y recursos para investigación

La política de ciencia, tecnología e innovación (CTel) es uno de los principales lineamientos del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 *Todos por un nuevo país*, que tiene como objetivo lograr una Colombia en paz, equitativa y la más educada de América Latina (Conpes, 2015). Desde este concepto se concibe el Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes), expreso mediante la Ley 19 de 1958. Este ente está relacionado con el Departamento Nacional de Planeación (DNP), por lo tanto, sobre sus hombros descansan diversas funciones críticas para la nación, entendidas en el sentido que debe presentar propuestas para su estudio y aprobación sobre todo lo relacionado con los diferentes programas y proyectos del Gobierno nacional que impliquen inversión, contratación y financiamiento público, entre otros aspectos.

En el marco de la educación, en el documento Conpes se definen los lineamientos para dar impulso a todos los programas y proyectos relacionados con la CTel, propendiendo de esta manera aumentar el capital humano altamente calificado que abone el terreno para las generaciones venideras, mejorar la proyección internacional en I+D en el esquema de la financiación y direccionamiento estratégico, y todo lo que ello conlleva en cuanto cultura y apropiación tecnológica, participación ciudadana, transferencia de conocimiento y gobernanza. También se pretende fortalecer

los servicios e incentivar a aquellas instituciones que incursionen o trabajen en CTel.

Para efectos del cumplimiento de los objetivos de la política del Conpes, las entidades involucradas en su ejecución, en el marco de sus competencias, gestionarán y priorizarán recursos para la financiación de las estrategias que se proponen, acorde con el Marco de Gasto de Mediano Plazo (MGMP) del respectivo sector (Conpes, 2015). Esto significa que para el caso de la I+D, quién formula, orienta, dirige, coordina, ejecuta e implementa las políticas de Estado es Colciencias.

¿Cuál es el panorama actual del modelo CTel? Como la investigación es uno de los ejes fundamentales de la educación superior, en la que Colombia le ha venido apostando desde hace varios años atrás a través de instituciones como Colciencias, en la que sin demeritar su labor, se le ha cuestionado en reiteradas ocasiones sobre el uso racional de los recursos destinados para la I+D en el país, incluso la inversión que se hace en cuanto al capital humano altamente calificado como son los doctores, que es uno de los más bajos en contraposición con otros países latinoamericanos (Dinero, 2017; Semana, 2017).

De acuerdo con el estudio realizado por el Conpes, se requiere ajustar un conjunto de normas que cobija al proceso CTel, con miras a ser unificadas, que generan en la actualidad vacíos en cuanto a la administración de recursos del Estado. Un ejemplo al respecto que generó revuelo en el Gobierno, en su momento, fueron los recursos cuyo origen fue el presupuesto de regalías que se destina a un fondo de CTel (FCTI), a lo que se le suma un crédito solicitado al Banco Mundial para el programa Colombia Científica, que lidera el MEN, Colciencias, Icetex y el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Lo que se encontró es que según una publicación de difusión nacional, (Fog, 2017), se señala que es difícil entender por qué el país dejó perder \$1,1 billones del presupuesto de regalías destinados a la CTel, mientras que pide un crédito al Banco Mundial por \$234 mil millones que ya han sido aprobados para el programa Colombia Científica. Por consiguiente, no se explica el absurdo de haber realizado un préstamo al Banco Mundial cuando no se requería.

La respuesta ante este hecho por parte de Colciencias, se sustenta en conceptos de carácter constitucional e institucional, por lo que se deduce que este dinero toma rumbos diferentes en cuanto a los programas, en los cuales la gestión y administración de estos queda literalmente en el limbo, ya que nadie dio parte de a dónde fue a parar el resto de dinero que no fue invertido, o qué se hizo con él. Por lo tanto, el Gobierno propuso al Congreso de la República replantear estas políticas con el fin de liberar los recursos destinados al FCTI y destinar solo el 10 % para este, y dar otro uso a lo restante a proyectos relacionados con el proceso de paz. Aunque a la fecha de escribir este artículo no se ha definido esta propuesta, lo más factible es que estos recursos se destinen como propone el Congreso o al menos se aproxime a ello.

¿Qué se ha propuesto acerca del manejo de Colombia Científica? Según lo consignado en El Observatorio de la Universidad Colombiana (2017), se plantean alianzas que incluyen a dos IES nacionales con acreditación de alta calidad reconocida, otra no acreditada, un centro de investigación o innovación internacional y una organización del sector productivo nacional. Lo que se observa es que esta solución solo beneficia a las IES acreditadas y se presta para que estas abusen de los recursos y de su estatus para admitir o descartar aquellas IES no acreditadas o que no son de su conveniencia. Este tema es muy delicado, pues se ha manifestado por parte de las IES no acreditadas en alta calidad que existe una estigmatización del Estado hacia estas, no solo en el tema de la investigación, sino en la asignación de recursos y exigencias para la acreditación, en el cual se considera que estas presentan deficiencias en su modelo educativo y calidad de sus servicios, a lo que se les ha llegado a denominar como *universidades de garaje* (Redacción Educación, 2015; Borges, s. f).

Se habla de centros de investigación, de los cuales escasamente se llega a los 70 y cerca de una tercera parte no están reconocidos por Colciencias, en la que la proporción con respecto al número de IES es muy baja. También se hace referencia de la vinculación con el sector productivo nacional, el cual tampoco muestra un panorama muy halagador que le apueste a la I+D, máxime cuando

las políticas de impuestos y excepciones no ayudan mucho a incentivar en este aspecto a la pequeña y mediana empresa.

Para finalizar, preocupa la dirección que han venido tomando las políticas y los recursos para investigación en los últimos años, en la cual el tema de la educación a distancia y virtual pareciera estar en el limbo. Muchos afirmarían que está implícito en las decisiones que toma el Gobierno, pero debe considerarse que no se puede generalizar las políticas de educación superior tal como están actualmente, cuando existen marcadas diferencias al respecto y la investigación no es la excepción, en la cual los escenarios de formación están sujetos a las tecnologías emergentes (Márquez, 2017) y TIC en general (Tochon, 2012; Boude, 2013) que están propendiendo al surgimiento de nuevas metodologías y pedagogías (Morales y Munévar, 2014) conforme a las tendencias tecnológicas del momento.

3. Conclusiones

Hablar de calidad en la educación superior implica una serie de cambios de paradigma no solo en las instituciones, sino de la sociedad en general, máxime cuando se menciona la educación a distancia y virtual, en la que se debe dejar de lado la oposición por parte de ciertos sectores del Gobierno e incluso de algunas IES el de no apoyar este tipo de educación, que ha demostrado su valía en cuanto a expansión y calidad, aunque en muchos casos se cuestione.

La cobertura y calidad de la educación en sus diferentes niveles requieren ser revaluadas en muchos contextos, empezando por la formación de capital humano calificado, el cual es insuficiente para cubrir las necesidades propias de la industria del país y que a fin de cuentas son el eje de su desarrollo, sumado a que no están dadas en su totalidad las garantías para que el profesional que sale al mercado cumpla con los requerimientos de este en cuanto a calidad y capacidad laboral. No sobra decir que el propender por este tipo de cambios implica un impacto sociocultural y económico en la educación en todos sus niveles y modalidades, no

solo en lo concerniente a infraestructura física, sino en aspectos de carácter técnico, tecnológico y humano, por lo cual el panorama sobre las políticas o reformas educativas debe ser revaluado con mesura por parte de las autoridades gubernamentales, de las instituciones de educación, del gremio de maestros y la comunidad en general.

Las IES e instituciones terciarias deben reevaluar muchos de sus procesos administrativos, metodológicos y pedagógicos si desean que la cobertura versus la calidad mejore, en la que se contemplen mecanismos ideales con miras a minimizar la deserción académica. De igual manera, se requiere de un mayor control y seguimiento por parte del Estado en cuanto a las ayudas económicas y de becas destinadas para aquellas personas y comunidades que lo necesitan realmente, al igual que dar mayor prelación de estas becas a IES públicas para que tengan mayor representación e impacto en la comunidad estudiantil y por ende en la sociedad. A este panorama se suma que debe reevaluarse lo que está sucediendo en cuanto a los aportes por estudiante a las universidades públicas, en las cuales la inequidad es notoria.

Se requiere mayor atención en cuanto al manejo de recursos destinados a la CTel, en la cual las políticas deben ser unificadas de tal manera que los entes gubernamentales hablen un mismo lenguaje en cuanto a I+D, las proyecciones que se tienen a futuro y la inversión que conlleva esta. Las políticas en cuanto a I+D están dadas, pero se requiere un mayor control sobre el uso racional de los recursos y una inversión más certera en cuanto a capital humano calificado, oportunidades y demás aspectos que faciliten el acceso a los recursos a todas aquellas instituciones, grupos y centros de investigación por igual.

El Gobierno colombiano debe prestar mayor atención al impacto que están generando las IES y terciarias que trabajan con programas a distancia o virtuales, y dedicarle tiempo a una legislación clara y concisa en cuanto a calidad, derechos y deberes de estas, no solo con el Estado sino con la sociedad en general. La educación a distancia y virtual brinda nuevos escenarios formativos, en los cuales las tecnologías emergentes y las TIC están marcando el rumbo hacia una educación más dinámica y participativa. Por

consiguiente es un deber no solo de las IES e instituciones terciarias velar para que se brinde una educación de calidad, sino también del propio Estado, en el cual las oportunidades de financiación, becas y recursos presentes en la educación superior tradicional sean equitativos.

Los programas a distancia y virtuales están creciendo rápidamente no solo en Colombia sino en toda América Latina, que es un referente, y es por ello que el Estado debe prestar mayor atención a estas modalidades y no poner trabas en su creación y consecución, sino, por el contrario, apoyar y realizar un seguimiento oportuno con miras a evaluar la pertinencia y oportunidades con un ojo crítico e imparcial, ya que es un hecho que este tipo de educación está brindado no solo a las comunidades marginadas sino a personas del común, oportunidades que con la educación presencial no es posible suplir. Citando las palabras de Silva (2013),

Es necesario seguir fortaleciendo el paradigma de la educación a distancia y virtual fundamentado en sus principales características, que determine en forma precisa sus modos de realización, las interacciones que le son propias y las capacidades que puede desarrollar en el talento humano que participa en ella, de manera que ofrezca experiencias educativas que aseguren una educación superior de alta calidad.

De lo anterior se infiere, que al Gobierno, en cabeza del MEN, se le está haciendo tarde en establecer nuevas directrices en materia de educación superior en sus diferentes modalidades para el presente siglo. El enfoque que se maneja actualmente debe ser cambiado, al igual que la transparencia, imparcialidad y gobernanza (Tuesca y Prieto, 2016), si es que se espera realmente tener una verdadera calidad, innovación, diversificación y equidad en la educación, máxime cuando se quiere dar mayor realce y participación de la educación superior a nivel internacional (Salmi et al., 2014). Por lo tanto, como afirma (Misas, 2004), se debe hacer frente a las crecientes demandas de la educación superior, en la cual se requiere ampliar la oferta de modalidades de formaciones

existentes, que contemplen los criterios de equidad, calidad, cobertura y pertinencia para el desarrollo del país.

4. Referencias bibliográficas

- Alvarado, H. y Calderón, de la Z. (2013) Diagnóstico estadístico y tendencias de la educación superior a distancia en Colombia. En N. Arboleda y C. Rama (eds.), *La educación superior a distancia y virtual en Colombia: nuevas Realidades*. Bogotá: Virtual Educa y Asociación Colombiana de Instituciones de Educación Superior con Programas a Distancia y Virtual (Acesad).
- Ardila, M. (2011). Calidad de la educación superior en Colombia, ¿problema de compromiso colectivo? *Revista Educación y Desarrollo Social*, 5(2), 44-55. doi: <https://doi.org/10.18359/reds.842>
- Asmar, M. y Gómez, V. (2016). *Los alcances del Ser Pilo Paga son excesivamente limitados*. El Espectador. Recuperado de <http://www.elespectador.com/noticias/educacion/los-alcances-del-ser-pilo-paga-son-excesivamente-limita-articulo-600089>
- Baena, M. P. (25 de febrero de 2017). *El precio de estudiar un doctorado en Colombia*. El Espectador. Recuperado de <http://www.elespectador.com/noticias/educacion/el-precio-de-estudiar-un-doctorado-en-colombia-articulo-681786>
- Bellei, C., Poblete, X., Sepúlveda, P., Orellana, V., y Abarca, G. (2013). *Situación educativa de América Latina y el Caribe: hacia la educación de calidad para todos al 2015*. Unesco: Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe.
- Borges, A. (s. f.). *Las 20 peores universidades de Colombia según el Ministerio de Educación*. Al Día. Recuperado de <http://www.aldia.co/freak-geek-nerd/las-20-peores-universidades-de-colombia-segun-el-ministerio-de-educacion>
- Boude, Ó. (2013). Tecnologías emergentes en la educación: una experiencia de formación de docentes que fomenta el diseño de ambientes de aprendizaje. *Educación y Sociedad*, 34(123), 531-548. <https://dx.doi.org/10.1590/S0101-73302013000200012>

- Congreso de la República de Colombia. (28 de diciembre de 1992). *Ley 30 de 1992 por la cual se organiza el servicio público de la Educación Superior*. Ministerio de Educación Nacional. Bogotá. Recuperado de https://www.cna.gov.co/1741/articulos-186370_ley_3092.pdf
- Congreso de la República de Colombia. (23 de diciembre de 2014). *Ley 1740 de 2014 por la cual se desarrolla parcialmente el artículo 67 y los numerales 21, 22 y 26 del artículo 189 de la Constitución Política, se regula la inspección y vigilancia de la educación superior, se modifica parcialmente la Ley 30 de 1992 y se dictan otras disposiciones*. Ministerio de Educación Nacional. Bogotá, Diario Oficial 49.374. Recuperado de <http://www.mineducacion.gov.co/1759/w3-article-350383.html>
- Conpes. (2015). *Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2015-2025*. Bogotá: Consejo Nacional de Política Económica y Social, Departamento Nacional de Planeación.
- Consejo Nacional de Educación Superior (SESU). (2017). *Acuerdo 03 de 2017 por el cual se modifica el Acuerdo 03 de 2014 por el cual se aprueban los Lineamientos para la Acreditación Institucional*. Recuperado de http://universidad.edu.co/images/cmlopera/descargables/Acuerdo_03_de_2017_CESU.pdf
- Corica, J. (2012). Educación virtual y brecha digital de segundo nivel. En M. Morocho y C. Rama (eds.), *Las nuevas fronteras de la educación a distancia*. Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2015). *PND 2014 -2018. Todos por un nuevo país. Paz, equidad y educación*. Tomo 1 y 2. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. Recuperado de <https://www.minagricultura.gov.co/planeacion-control-gestion/Gestin/Plan%20de%20Acci%C3%B3n/PLAN%20NACIONAL%20DE%20DESARROLLO%202014%20-%202018%20TODOS%20POR%20UN%20NUEVO%20PAIS.pdf>
- Díaz, M. (29 de enero de 2018). *Una educación cada vez menos física*. En Colombia, el modelo de educación virtual ha crecido 98,9 %. El Espectador. Recuperado de <https://www.elespectador.com/noticias/educacion/una-educacion-cada-vez-menos-fisica-articulo-735695>

- Dinero (15 de marzo de 2017). ¿Cuántos doctores gradúan Colombia en comparación con el resto del mundo? Recuperado de <https://www.dinero.com/economia/articulo/graduados-de-doctorado-en-colombia-y-el-resto-del-mundo/242911>
- El Espectador. (11 de mayo de 2015). *U. de garaje, ¿cuál sí y cuál no?* Redacción Educación. Recuperado de <http://www.elespectador.com/noticias/educacion/u-de-garaje-cual-si-y-cual-no-articulo-559969>
- El Observatorio de la Universidad Colombiana. (2017). *Defiendo las instituciones de educación superior: viceministra Natalia Ruiz*. Recuperado de <http://www.universidad.edu.co/index.php/noticias/14628-defiendo-las-instituciones-de-educacion-superior-viceministra-natalia-ruiz>
- El Observatorio de la Universidad Colombiana. (2017). *En ciencia, se consiguen recursos, se malgastan recursos y se carece de una política al respecto*. Recuperado de [http://www.universidad.edu.co/index.php/noticias/14576-en-ciencia-se-consiguen-recursos-se-malgastan-recursos-y-se-carece-de-una-politica-al-respecto?ct=t\(Noticias_febrero_20_26_2017\)&mc_cid=dec4d30630&mc_eid=39c893694b](http://www.universidad.edu.co/index.php/noticias/14576-en-ciencia-se-consiguen-recursos-se-malgastan-recursos-y-se-carece-de-una-politica-al-respecto?ct=t(Noticias_febrero_20_26_2017)&mc_cid=dec4d30630&mc_eid=39c893694b)
- El Observatorio de la Universidad Colombiana. (2017). *Mineducación extiende 32 meses plazo para que algunas licenciaturas se acrediten obligatoriamente*. Recuperado de [http://www.universidad.edu.co/index.php/noticias/14681-mineducacion-extiende-por-32-meses-plazo-para-que-algunas-licenciaturas-se-acrediten-obligatoriamente?ct=t\(Noticias_febrero_20_26_2017\)&mc_cid=c94ecf7e16&mc_eid=39c893694b](http://www.universidad.edu.co/index.php/noticias/14681-mineducacion-extiende-por-32-meses-plazo-para-que-algunas-licenciaturas-se-acrediten-obligatoriamente?ct=t(Noticias_febrero_20_26_2017)&mc_cid=c94ecf7e16&mc_eid=39c893694b)
- El Observatorio de la Universidad Colombiana. (2017). *Peligrosas interpretaciones legales sobre la autonomía universitaria*. Recuperado de <http://www.universidad.edu.co/index.php/ensayos-acadcos-mainmenu-81/14731-peligrosas-interpretaciones-legales-sobre-la-autonomia-universitaria>
- El Observatorio de la Universidad Colombiana. (2017). *Sistema de educación superior colombiano aún no valora ni dimensiona la virtualidad*. Recuperado de <http://www.universidad.edu.co/index.php/noticias/14594-sistema-de-educacion-superior-colombiano-aun-no-valora-ni-dimensiona-la-virtualidad>

lidad?ct=t(Noticias_febrero_20_26_2017)&mc_cid=14ed-
fff184&mc_eid=39c893694b

El Observatorio de la Universidad Colombiana. (2017). ¿Y por qué no hay pregrados de Derecho a distancia y virtuales en Colombia? Recuperado de [http://www.universidad.edu.co/index.php/noticias/14580-y-por-que-no-hay-pregrados-de-derecho-a-distancia-y-virtuales-en-colombia?ct=t\(-Noticias_febrero_20_26_2017\)&mc_cid=dec4d30630&mc_eid=39c893694b](http://www.universidad.edu.co/index.php/noticias/14580-y-por-que-no-hay-pregrados-de-derecho-a-distancia-y-virtuales-en-colombia?ct=t(-Noticias_febrero_20_26_2017)&mc_cid=dec4d30630&mc_eid=39c893694b)

El Tiempo (2018). *El Gobierno presentó la nueva versión de Ser Pilo Paga*. Recuperado de <https://www.eltiempo.com/vida/educacion/el-gobierno-presento-programa-generacion-e-la-nueva-version-de-ser-pilo-paga-283714>

Facundo, A. (2009). Análisis sobre la deserción en la educación superior a distancia y virtual: el caso de la UNAD-Colombia. En Universidad Abierta para Adultos (UAPA), *Deserción en las instituciones de educación superior a distancia en América Latina y el Caribe*. República Dominicana: Ediciones UAPA, 15-68. Recuperado de [https://virtualeduca.org/documentos/observatorio/oevalc_2009_\(desercion\).pdf](https://virtualeduca.org/documentos/observatorio/oevalc_2009_(desercion).pdf)

Facundo, A. (2010). *El difícil tránsito a la virtualidad. La educación superior a distancia en Colombia luego de tres décadas de desarrollo*. En Instituto Tecnológico Virtual de Educación SL, *La educación superior a distancia: Miradas diversas desde Iberoamérica*. Madrid: Zorita Nuevo Centro de Edición SL, 56-77.

Ferreya, M., Avitabile, C., Botero J., Haimovich, F., y Urzúa, S. (2017). *At a Crossroads Higher Education in Latin America and the Caribbean*. Washington, D. C.: Directions in Development-Human Development, World Bank. Recuperado de <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/26489>
License: CC BY 3.0 IGO

Fog, L. (9 de abril de 2017). *Recursos para ciencia se atomizan*. El Espectador. Recuperado de <http://www.elespectador.com/noticias/ciencia/recursos-para-ciencia-se-atomizan-articulo-688626>

Galvis, A. (20 de mayo de 2016). *Marco Nacional de Cualificaciones*. Colombia Aprende. La red del conocimiento. Recuperado de <http://aprende.colombiaaprende.edu.co/es/node/89211>

- García, L. (2017). Educación a distancia y virtual: calidad, disrupción, aprendizajes adaptativo y móvil. *RIED, Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 20(2), 9-25. doi: <http://dx.doi.org/10.5944/ried.20.2.18737>
- Hallak, J., y Poisson, M. (2010). *Escuelas corruptas, universidades corruptas: ¿Qué hacer?* París: Instituto Internacional de Planeamiento de la Educación, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco).
- Herrera, C. (2011). *Reforma a la educación superior: discusión imprescindible e inaplazable*. Recuperado de <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/reforma-a-la-educacion-superior-discusion-imprescindible-e-inaplazable.html>
- Himmel, E. (2002). Modelos de análisis de la deserción estudiantil en la educación superior. *Revista Calidad en la Educación*, (17). Chile: Consejo Superior de Educación. doi: <http://dx.doi.org/10.31619/caledu.n17.409>
- León, A. (2012). *El Banco Mundial y las políticas educativas en Colombia*. Simposio Internacional de Pedagogía, Humanidades y Educación. Escuela y Pedagogía Transformadora. Abril 19 y 20 de 2012, Universidad Autónoma de Occidente, Cali Colombia. Recuperado de <https://es.slideshare.net/educacionrafael/el-banco-mundial-y-laspolticas-educativas-articulo-pedagogia-y-saberes-5>
- Malaver, C. (2016). *De cada 100 graduados, solo 48 ingresaron a la educación superior*. El Tiempo. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16656094>
- Márquez, J. (2018). Tecnologías emergentes, reto para la educación superior colombiana. *Ingeniare*, (23), 35-57. doi: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.2.2882>
- Martínez, E. y Ramírez, J. (2006). La corrupción en la contratación estatal colombiana una aproximación desde el neoinstitucionalismo. *Reflexión Política*, 8(15), 148-162. Colombia: Universidad Autónoma de Bucaramanga.
- Martínez, E. y Ramírez, J. (2010). La corrupción en la administración pública: un perverso legado colonial con doscientos años de vida republicana. *Reflexión Política*, 12(23), 68-80. Colombia: Universidad Autónoma de Bucaramanga.

- Matallana, O., y Zamudio, M. (2011). Caracterización de la educación superior a distancia en las universidades colombianas. *Revista de Investigaciones UNAD*, 1(1), 59-80.
- Ministerio de Educación Nacional (MEN). (1 de diciembre de 2005). *Resolución 5547 de 2005 por la cual se define el trámite y los requisitos para la convalidación de títulos otorgados por instituciones de educación superior extranjeras o por instituciones legalmente reconocidas por la autoridad competente en el respectivo país, para expedir títulos de educación superior*. Recuperado de http://www.mineducacion.gov.co/1621/articulos-91627_archivo_pdf.pdf
- Ministerio de Educación Nacional (MEN). (2018). *Referentes de calidad: Una propuesta para la evolución del sistema de aseguramiento de la calidad*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Misas, G. (2004). *La educación superior en Colombia. Análisis y estrategias para su desarrollo*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <https://www.urosario.edu.co/Subsitio/Foros-de-Reforma-a-la-Educacion-Superior/Documentos/GMA---La-Educacion-Superior-en-Colombia.pdf>
- Morales, S., y Munévar, P. (Diciembre de 2014). Hacia una convergencia entre las tecnologías emergentes y las pedagogías emergentes. *Revista de Investigaciones UNAD*, 13(2), 79-93. Recuperado de <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/revista-de-investigaciones-unad/article/viewFile/1147/1357>
- Muskin, J. (2015). *Evaluación del aprendizaje del estudiante y el currículo: problemas y consecuencias para la política, el diseño y la aplicación*. Serie: Cuestiones fundamentales y actuales del currículo y el aprendizaje. OIE-Unesco International Bureau of Education.
- OECD. (2016). *Revisión de políticas nacionales de educación. La educación en Colombia*. Ministerio de Educación Nacional. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). París: OCDE. Recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-356787_recurso_1.pdf
- Presidencia de la República de Colombia. (2010). *Decreto 1295 de 2010 por el cual se reglamenta el registro calificado de que trata la Ley 1188 de 2008 y la oferta y desarrollo de programas académicos de educación superior*. Bogotá, Diario Oficial 47.687

del 21 de abril de 2010. Recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-229430_archivo_pdf_decreto1295.pdf

- Presidencia de la República de Colombia. (26 de mayo de 2015). *Decreto 1075 de 2015 por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Educación*. Bogotá: Ministerio de Educación Nacional. Recuperado de <http://www.mineducacion.gov.co/normatividad/1753/w3-article-351080.html>
- Ramírez, D., Gartner, M., Bernal, J., Zapata, A., Vallejo, F., Prieto, P. y Langebaek C. (Enero de 2012). *Lineamientos para la acreditación de programas de pregrado*. Bogotá: Sistema Nacional de Acreditación. Consejo Nacional de Acreditación CNA. Recuperado de http://www.eia.edu.co/documentos/laEIA/normativas_lineamientos/lineamientos/lineamientos_para_acreditacion_de_programas_CNA_enero_2012.pdf
- Sáenz, J. (31 de julio de 2017). *Presupuesto de 2018, con alto gasto y poca inversión*. El Espectador. Recuperado de <https://www.elespectador.com/economia/presupuesto-de-2018-con-alto-gasto-y-poca-inversion-articulo-705897>
- Salmi, J. et al. (2014). El desafío de pensar una política de internacionalización de la Educación Superior en Colombia. En Ministerio de Educación Nacional (MEN), *Reflexiones para la Política de Internacionalización de la educación superior en Colombia*. Bogotá: Ministerio de Educación Nacional.
- Semana. (2017). *Colombia 'se raja' en número de doctorados*. Recuperado de <https://www.semana.com/confidenciales-semanacom/articulo/colombia-con-poco-numero-de-doctorados/517751>
- Silva, L. E. (2013). *Acreditación de alta calidad: educación abierta y a distancia*. En N. Arboleda y C. Rama (eds.). *La educación superior a distancia y virtual en Colombia: nuevas realidades*, 213-226. Bogotá: Asociación Colombiana de Instituciones de Educación Superior con Programas a Distancia y Virtual (ACESAD).
- Tenjo, J. (2012). *Demanda por educación superior: proyecciones hasta 2025*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de <https://www.javeriana.edu.co/documents/15838/273636/SPEDES30112012.pdf/731df021-acd0-4d39-9ed4-fc3704eaa6f0>

- Tochon, F. (2012). Tecnologías emergentes en instituciones educativas: ventajas y riesgos potenciales. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, 3, 188- 202. Recuperado de https://www.ugr.es/~jett/pdf/vol03_14_jett_tochon.pdf
- Tuesca, N., y Prieto, F. (2016). *La gobernanza y la educación superior en Colombia*. V Encuentro Latinoamericano de Metodología de las Ciencias Sociales (ELMeCS), 16 al 18 de noviembre de 2016, Mendoza, Argentina. Recuperado de http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.8520/ev.8520.pdf
- Unesco. (2017). *Informe de seguimiento de la educación en el mundo, 2016. La educación al servicio de los pueblos y el planeta. Creación de futuros sostenibles para todos*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. París: Unesco. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000248526>
- Ungar, E. (1 de noviembre de 2010). *La corrupción en Colombia. Cáncer de la democracia*. Razón Pública. Recuperado de <http://www.razonpublica.com/index.php/econom-y-sociedad-temas-29/1510-la-corrupcion-en-colombia.html>

Diseño de un aerogenerador de eje vertical para zonas no interconectadas de Colombia

Design of a vertical axis wind turbine for non-interconnected areas of Colombia

Projeto de uma turbina eólica de eixo vertical para áreas não interconectadas da Colômbia

Johann Barragán Gómez

Universidad Autónoma de Bucaramanga.
Programa de Ingeniería Mecatrónica. Bucaramanga, Colombia.
jbarragan262@unab.edu.co.

Juan Sebastián Rivera Cabezas

Universidad Autónoma de Bucaramanga.
Programa de Ingeniería Mecatrónica. Bucaramanga, Colombia.
jriviera36@unab.edu.co.

Álvaro Julián González Cárdenas

Universidad Autónoma de Bucaramanga.
Programa de Ingeniería Mecatrónica. Bucaramanga, Colombia.
agonzalez79@unab.edu.co.

Resumen

El objetivo de este estudio es especificar los parámetros relevantes que se deben tener en cuenta al diseñar una turbina eólica de eje vertical Darrieus tipo Giromill de pequeña escala, es decir, con menos de 1.000 vatios de potencia en el eje. El desarrollo del estudio comienza con la identificación de la ubicación en la que se instalará el aerogenerador, las características de los vientos presentes y las especificaciones del diseño constructivo seleccionado. Una vez determinado el diseño constructivo, se es-

tablecen las cargas que se ejercen sobre la estructura. Después de calcular las cargas, se procede con el cálculo de los esfuerzos y la determinación de los puntos críticos en los elementos componentes de la máquina. Se aplican las ecuaciones de diseño que permiten especificar las dimensiones y el material que se ajusta a los factores de seguridad especificados. También se discute el diseño de la etapa de generación y los requisitos para la producción de energía.

El resultado del estudio es el diseño de un aerogenerador de eje vertical con tres álabes de perfil alar y una columna de soporte tubular. La transformación de la energía mecánica en energía eléctrica se logra mediante un generador de imán permanente de flujo axial compuesto de 12 polos y 9 bobinas en conexión en estrella. Este estudio permite concluir que es posible obtener un diseño robusto y de fácil manufactura en el entorno local. Como trabajo futuro, se consideran la fase de construcción del aerogenerador y la medición del desempeño del sistema.

Palabras clave: *aerogenerador de eje vertical, aerogenerador de pequeña escala, darrieus tipo giromill, diseño de aerogeneradores de eje vertical, generador de flujo axial de imanes permanentes, turbina eólica.*

Abstract

The objective of this study is to specify the relevant parameters that must be taken into account when designing a small-scale Darrieus type Giromill vertical axis wind turbine, that is, less than 1000 watts of power on the shaft. The development of the study begins with the identification of the location in which the wind turbine will be installed, the characteristics of the winds present and the specifications of the selected construction design. Once the construction design has been determined, the loads that are exerted on the structure are determined. After calculating the loads, one proceeds with the calculation of the stresses and the determination of the critical points in the component elements of the machine. The design equations that allow specifying the dimensions and the material that conform to the specified safety factors are applied. The design of the generation stage and the requirements for energy production are also discussed.

The result of the study is the design of a vertical axis wind turbine with three wing profile blades and a tubular support column. The transformation of mechanical energy to electrical energy is achieved by means of an axial flow permanent magnet generator made of 12 poles and 9 coils in star connection. The conclusion of this study allows to conclude that it is possible to obtain a robust and easily manufactured design in the local environment. As future work, the construction phase of the wind turbine and the measurement of the performance of the system are considered.

Keywords: *Axial flow permanent magnet generator, Darrieus type Giromill, Design of vertical axis wind turbines, Small-scale wind turbine, Vertical axis wind turbine*

Resumo

O objetivo deste estudo é especificar os parâmetros relevantes que devem ser levados em conta ao projetar uma turbina eólica de eixo vertical tipo Giromill pequena em tamanho Darrieus, ou seja, menos de 1000 watts de potência de eixo. O desenvolvimento do estudo começa com a identificação do local em que a turbina eólica será instalada, as características dos ventos presentes e as especificações do projeto de construção selecionado. Uma vez que o projeto da construção tenha sido determinado, as cargas que são exercidas na estrutura são determinadas. Após o cálculo das cargas, procede-se ao cálculo das tensões e à determinação dos pontos críticos nos elementos componentes da máquina. As equações de projeto que permitem especificar as dimensões e o material que obedece aos fatores de segurança especificados são aplicadas. O projeto do estágio de geração e os requisitos para a produção de energia também são discutidos.

O resultado do estudo é o projeto de uma turbina eólica de eixo vertical com três lâminas de perfil de asa e uma coluna de suporte tubular. A transformação da energia mecânica em energia elétrica é obtida por meio de um gerador magnético permanente de fluxo axial feito de 12 polos e 9 bobinas em conexão estrela. A conclusão deste estudo permite concluir que é possível obter um design robusto e de fácil fabricação no ambiente local. Como trabalho futuro, a fase de construção da turbina eólica e a medição do desempenho do sistema são consideradas.

Palavras chave: *Darrieus Giromill, Gerador de fluxo axial de ímãs permanentes, Projeto de turbinas eólicas de eixo vertical, Turbina eólica de eixo vertical, Turbina eólica de pequena escala.*

1. Introducción

Según el sistema de información eléctrico colombiano, las zonas no interconectadas (ZNI) son los municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al sistema nacional (artículo 1 de la Ley 855 de 2003). En las ZNI la prestación del servicio se hace principalmente mediante plantas de generación diésel, paneles solares y pequeñas centrales hidroeléctricas. Según un informe de la Superintendencia de Servicios Públicos, en 2012 aproximadamente un 52 % del territorio nacional carecía de interconexión.

Las ZNI se encuentran principalmente en el sector rural, en el oriente y sur colombiano y en la región Pacífica del Chocó, Nariño y Cauca. La falta de cobertura eléctrica tiene repercusiones directas sobre la calidad de la educación en estas zonas, pues impide el uso de computadores que permitan el acceso a la información y la posibilidad de conectarse con un mundo globalizado.

En el país existe un 30 % de instituciones educativas oficiales (248.000 niños, niñas y jóvenes en edad escolar) que viven esta situación. A esta se suma un millón de familias que carecen del servicio de energía eléctrica en el sector rural. El Gobierno nacional y la

Organización de Estados Iberoamericanos (OEI) han emprendido el proyecto Luces para Aprender para dar solución a esta problemática con el uso de energía fotovoltaica en el departamento del Chocó.

Dada la dimensión de la situación, se hace necesario profundizar en la investigación de generación de energía a partir de otras posibles fuentes renovables que puedan contribuir con la solución de esta problemática, que se adapten a las diferentes condiciones de la topografía colombiana, y que complementen la solución predominantemente fotovoltaica que se ha implementado hasta el momento. Se debe tener presente que Colombia tiene un gran potencial eólico que ha sido poco aprovechado. La propuesta de este proyecto busca establecer lineamientos para el diseño y la

construcción de un generador eólico que pueda ser usado en las diferentes ZNI del país.

Los aerogeneradores de eje vertical son dispositivos transformadores de energía que funcionan convirtiendo la energía cinética del viento en energía cinética de rotación por medio de un mecanismo de rotor dotado con álabes. A su vez esta energía cinética de rotación es convertida en energía eléctrica a través de un generador.

La generación de electricidad basada en energía eólica cada vez recibe más atención en el mundo, debido al rápido agotamiento de los recursos energéticos fósiles (Loi Lei, 2001). En áreas remotas, los sistemas autónomos de generación de energía eólica de pequeña escala reducen los costos de conexión a la red y evitan las pérdidas de transmisión. En regiones desarrolladas, los sistemas de generación eólica distribuida también conllevan un notable beneficio desde el punto de vista de funcionamiento del sistema, al aumentar la fiabilidad del suministro energético (Loi Lei y Tze-Fun, 2009).

El potencial del mercado de los generadores de energía eólica es grande, debido a la creciente demanda de energía en los países y las regiones en vías de desarrollo. En grandes sistemas de generación eólica, las turbinas de eje horizontal (conocidas por su sigla en inglés como HAWTs) son las más usadas, al mover generadores de inducción de alta velocidad a través de cajas multiplicadoras. Por otro lado, las turbinas eólicas de eje vertical (VAWTs) son las más viables para sistemas de generación eólica distribuida de pequeña escala en el entorno urbano, donde el espacio reducido, las turbulencias y los bajos niveles de ruido son restricciones para su emplazamiento. Los tipos de VAWTs incluyen las turbinas tipo Darrieus, H-Darrieus, Savonius y, más recientemente, las turbinas tipo Hunt (Flin y Pool, 2005).

Una ventaja de las VAWTs comparadas con las HAWTs es que no necesitan ser orientadas hacia la dirección del viento, evitando así el costo y la infraestructura de sistemas de orientación. Aprovechando el espacio de la azotea de edificios altos, el requisito estructural de los VAWT puede reducirse considerablemente para

una captura de energía dada. Se ha reportado, por ejemplo, que aproximadamente 20 % de la demanda de energía de un edificio alto puede ser proporcionado por VAWTs (Flin y Pool, 2005). La generación en azoteas o tejados utilizando VAWTs, probablemente se convertirá en una importante forma de generación de energía renovable en las regiones urbanas, así como en las zonas aisladas de la red eléctrica, lo que implica el reto de mejorar la eficiencia de este tipo de turbinas eólicas (Loi Lei y Tze-Fun, 2009).

Dentro de los retos que plantea el diseño de este tipo de máquinas se encuentra en primer lugar que las velocidades del viento cerca del nivel del suelo son muy bajas, por lo que a pesar de que puede ahorrarse la torre, las velocidades del viento serán muy bajas en la parte inferior del rotor. También está presente el desafío relacionado con las bajas eficiencias promedio de este tipo de máquinas. Otro asunto por resolver es que estas máquinas, en general, no son de arranque automático ya que la máquina Darrieus necesita vencer una inercia antes de arrancar. Sin embargo, una solución que se ha planteado para este último inconveniente es usar el generador como motor, absorbiendo corriente de la red para arrancar la máquina. Estudios más recientes estudian la característica de autoarranque, que se logra cumpliendo ciertos criterios en la geometría constructiva del aerogenerador. En ocasiones la máquina puede necesitar cables tensores que la sujeten, aunque esta solución no es práctica en áreas muy cultivadas. Finalmente, durante la fase de mantenimiento, para sustituir el cojinete principal del rotor se necesita desmontar este último, problema que también se presenta en las máquinas de eje horizontal.

El propósito de este estudio es especificar los parámetros relevantes que se deben tener en cuenta al diseñar una turbina eólica de eje vertical Darrieus tipo Giromill de pequeña escala, es decir, con menos de 1.000 vatios de potencia en el eje. Se plantea una forma constructiva base que puede ser modificada según la capacidad de producción de energía que se requiera. El método descrito en este artículo permite calcular de manera rápida los elementos componentes de dicha forma constructiva inicial.

El artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 1 se plantea el estado del arte. En la sección 2 se discute el trabajo

relacionado con el diseño de aerogeneradores de eje vertical. En la sección 3 se presenta la descripción del método de cálculo para obtener las dimensiones, el material y el factor de seguridad que permiten obtener un diseño confiable. En la sección 4 se muestra un ejemplo de diseño de un aerogenerador con una potencia en el eje de 300 vatios. Las conclusiones y el trabajo futuro aparecen en la sección 5.

2. Estado del arte

Esta sección describe de manera breve diferentes diseños que han sido propuestos para aerogeneradores de eje vertical tipo Darrieus. La turbina tipo Darrieus es el modelo más popular dentro de las turbinas eólicas de eje vertical. Recibe su nombre por el ingeniero francés Georges Jean Marie Darrieus, quien patentó dicho diseño en 1931 (Patente n.º US1835018, 1931), ver figura 1.

La patente de Darrieus incluía también turbinas con álabes verticales o rectos, mejor conocidas como Giromill, en las cuales los álabes son orientados mecánicamente para poder ajustar el ángulo de ataque.

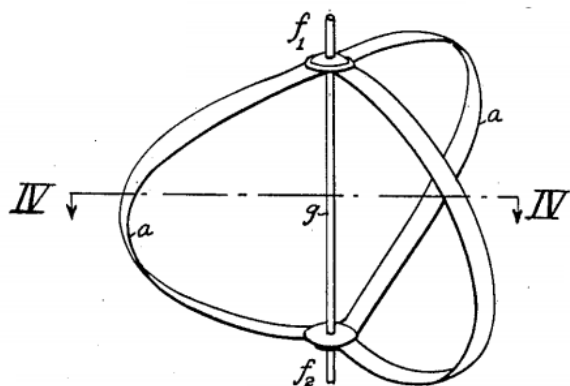


Figura 1. Aerogenerador Darrieus, patente de 1931, US1835018.

Fuente: (Patente n.º US1835018, 1931).

Partiendo de la configuración básica de álabes curvos propuesta por Darrieus, se proponen una serie de variantes de diseño.

Diseño Darrieus con álabes curvos

El diseño de la turbina Crossflex (Sharpe & Proven, 2010) se dirige hacia la integración de esta en edificaciones, como se muestra en la figura 2. El objetivo es aprovechar el flujo de aire que se genera alrededor de los edificios. Los álabes están diseñados para soportar esfuerzos cortantes altos, que aparecen al tener que aprovechar flujos de aire turbulentos. Este tipo de turbinas está sujeta a un marco firme el cual da soporte a la estructura y por el cual se fija a las edificaciones. Es ideal para implementarse en los techos de edificios y en construcciones esquineras, entre otros. No se recomienda su implementación en edificaciones bajas o a nivel del suelo.



Figura 2. Turbina Crossflex. Se observa una aplicación dentro de un entorno urbano.

Fuente: (Sharpe & Proven, 2010).

El documento GB 2404227 (United Kingdom Patente n° GB2404227, 2005) presenta una turbina que tiene unos brazos que rotan sobre un eje longitudinal. Consta de aspas con estructura alargada aproximándose a una geometría Troposkien, ver figura 3.

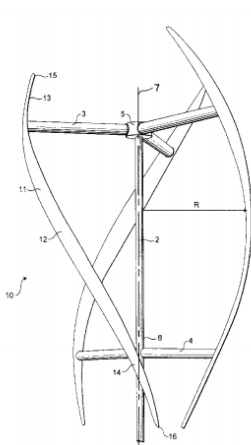


Figura 3. Aerogenerador Darrieus con patente GB 2404227.

Fuente: *United Kingdom Patente n.º GB2404227, 2005.*

Los extremos de la estructura se compensan desde el eje de manera que las aspas son helicoidales y la sección perpendicular al eje tiene forma aerodinámica. La sección tiene un acorde definido entre los bordes interior y exterior junto a la línea de radio constante desde el eje. La turbina tiene características mejoradas para trabajar eficientemente a altas velocidades del viento. Este aerogenerador mejora la eficacia a bajas velocidades del viento. Dicho aparato solo cuenta con un único sistema de diseño de aspas, con lo cual se puede afirmar que sirve cuando hay velocidades del viento bastante altas, pero no funciona para el caso que se presenten velocidades bajas (Colombia Patente n.º US 20130341933 A1, 2013).

El aerogenerador de la figura 4 se conoce comúnmente como tipo batidora (egg-beater, en inglés) o diseño tipo fi (Ϝ) por su similitud con dicha letra griega. Consiste en un eje vertical asentado sobre el rotor, con dos o más álabes curvos unidos al eje por los dos extremos. El modelo de curva más utilizado para formar la geometría de los álabes es del tipo Troposkien aunque puede utilizarse también el diseño de geometría catenaria.

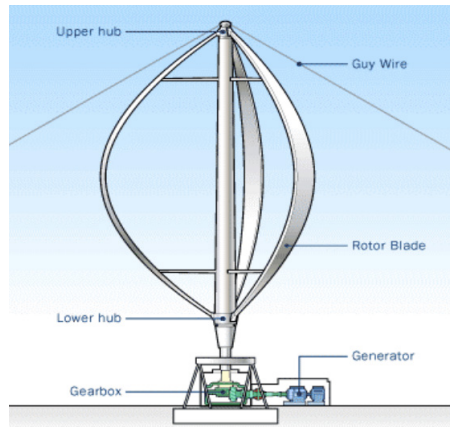


Figura 4. Estructura de la turbina Darrieus con álabes de perfil Tropskien.

Fuente: (Sharma & Patel, 2015).

Esta turbina fue producida comercialmente por la compañía estadounidense FloWind a inicios de la década de los ochenta (Gipe, 2013). Los aerogeneradores de la empresa FloWind normalmente se construían con dos álabes y contaban con un sistema de arranque secundario. Una vez iniciado el movimiento, este se mantenía gracias a la aerodinámica de los álabes.

Este diseño permite transformar la energía contenida en vientos turbulentos (Aslam, y otros, 2012), los cuales ocasionan fuerzas de empuje grandes en los álabes de la turbina, que poseen la geometría necesaria para soportarlos sin mayor inconveniente. A medida que el rotor gira por la acción del viento, los álabes adquieren un ángulo de ataque que permite generar el momento sobre el eje vertical. Esto produce un torque positivo que favorece la rotación del sistema en la dirección del viento (Sharma & Patel, 2015), a pesar de las condiciones de turbulencia que se puedan desarrollar.

La turbina Darrieus tipo fi (2) es mucho más sensible a los esfuerzos cortantes en su punto bajo de curvatura, puesto que es allí donde se crea una mayor tensión por parte del viento al estar los álabes sujetos a los dos extremos del eje de rotación (Baldassarra, 2015).

El aerogenerador tipo Darrieus de álabes curvos es el tipo de turbina de eje vertical que alcanza mayor eficiencia ya que oscila entre y , similar al rendimiento de las turbinas de eje horizontal que alcanzan un (Baldassarra, 2015). El diseño Darrieus debe considerar de manera cuidadosa los esfuerzos que se generan sobre los álabes. Otro punto de atención es el arranque del sistema. Para facilitar el arranque de este tipo de turbinas, se implementan diseños que añaden configuraciones Savonius. Otra alternativa es utilizar sistemas eléctricos que usualmente consisten en generadores de inducción conectados a la red.

Las ventajas de los aerogeneradores tipo Darrieus radica en que son omnidireccionales, es decir, no requieren de un sistema de orientación para girar el rotor en contra del viento, lo cual representa un ahorro sustancial de componentes mecánicos adicionales. Pueden ser instalados en cualquier terreno sin la necesidad de la construcción de torres altas. Los elementos de conversión de energía mecánica a eléctrica pueden situarse al nivel del suelo, lo que facilita la instalación del generador.

Diseños combinados Darrieus-Savonius

Con el objetivo de facilitar el arranque de los aerogeneradores tipo Darrieus, se proponen diseños que añaden la configuración Savonius, la cual ayuda al sistema a iniciar el giro, incluso con bajas velocidades del viento.

Los rotores Savonius son un tipo de aerogeneradores de eje vertical que consisten en dos placas semicilíndricas superpuestas. La fuerza de arranque se genera por acción de la fuerza de arrastre que crea el viento en la parte cóncava de los medios cilindros. El aprovechamiento de las velocidades del viento para la producción de energía es del 20 %, lo cual es menor que en los rotores Darrieus. No son utilizados para la producción de grandes cantidades de energía debido a su baja eficiencia en su transformación. Son usados para aplicaciones de medición de velocidad del viento. Mejoras en este tipo de modelo involucran la adecuación de una placa que permite incrementar el coeficiente de potencia C_p .

El cálculo de los parámetros C_p y λ (TSR) permite además clasificar los aerogeneradores en función de la velocidad de giro de los rotores, en lentos y rápidos, dependiendo de la velocidad relativa existente entre la periferia del rotor y la velocidad del viento. Los de tipo lento o de baja frecuencia ($\lambda \cong 1$), se utilizan en aplicaciones mecánicas, mientras que los rápidos ($\lambda > 2$) se emplean principalmente en generación de energía eléctrica. Numerosos experimentos han mostrado que la turbina tipo Savonius presenta su máximo C_p a valores muy bajos de λ , con la ventaja de que no necesita par de arranque externo a diferencia de la turbina tipo Darrieus. Por esta razón, diversos autores han desarrollado turbinas de eje vertical que combinan la turbina Savonius con la Darrieus, obteniendo valores de mejorados a mayores valores de λ , y eliminando la necesidad de contar con un par de arranque externo.

La combinación de un rotor Savonius con un rotor Darrieus de álabes curvos (Gupta, Biswas, & Sharma, 2008), ver figura 5, se propone como una solución de diseño que mejora la eficiencia con respecto a la que presenta el rotor Savonius trabajando solo, generando a la vez un par de arranque elevado que ayuda al arranque del rotor Darrieus.



Figura 5. Turbina híbrida que combina el concepto Savonius con el concepto Darrieus.

Fuente: Gupta, Biswas, y Sharma, 2008.

En el documento de patente US 20130341933 A1 (Colombia Patente n.º US 20130341933 A1, 2013) se describe un sistema de generación de energía eléctrica a partir de vientos con baja velocidad por medio de dos sistemas de álabes impulsores, tal como se observa en la figura 6.

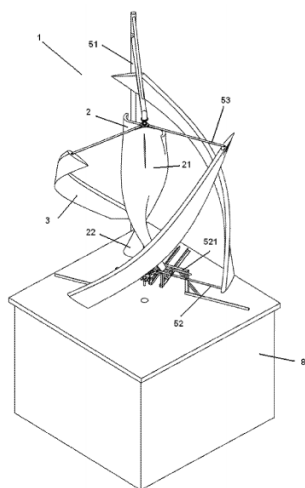


Figura 6. Aerogenerador con patente US 20130341933 A1.

Fuente: (Colombia Patente n.º US 20130341933 A1, 2013).

El documento WO 2009/092867 (Francia Patente n.º WO/2009/092867, 2009) presenta un aerogenerador, ver figura 7, en el cual las unidades que forman las aspas están fijas a otra unidad de soporte. El estator del generador eléctrico está también sostenido por las unidades de soporte. Las aspas forman unidades incluyendo una combinación de aspas tipo Savonius y un ensamblaje tipo Darrieus con una posición relativa fija. Las aspas de la turbina tipo Darrieus tienen un perfil tipo National Advisory Committee for Aeronautics (NACA 0015). Este aerogenerador requiere de una dirección del viento específica para empezar el movimiento de las aspas, lo cual no es práctico en todas las épocas del año ni en todos los países, principalmente los ecuatoriales, donde la velocidad del viento es baja y su dirección varía constantemente.

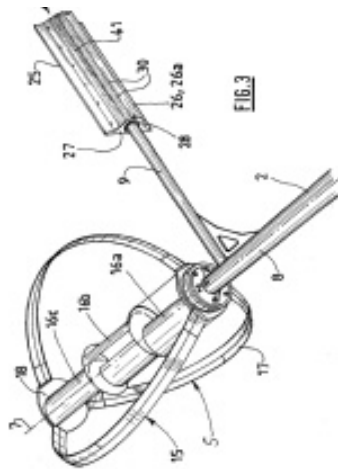


Figura 7. Aerogenerador Darrieus-Savonius con patente WO 2009/092867.

Fuente: (Francia Patente nº WO/2009/092867, 2009).

El fabricante Kliux (Kliux energies, s.f.) ha desarrollado un aerogenerador de eje vertical de baja potencia denominado Geo 1800 (1.800 vatios), de baja velocidad, que combina los modelos de eje vertical de arrastre y sustentación en un único rotor, ver figura 8.



Figura 8. Aerogenerador comercial Kliux Geo 1800.

Fuente: (Kliux energies, s.f.).

Tiene ocho álabes con dos perfiles diferentes intercalados entre sí, denominados alfa y beta. El perfil alfa recibe, conduce y retiene el viento el mayor tiempo, de esta manera, realiza la función de arrastre para obtener la máxima energía. El perfil beta recoge los vientos salientes del perfil alfa favoreciendo el giro del rotor al realizar la función de sustentación. La velocidad de giro del rotor es lenta, del orden de 60 rpm, y utiliza un generador de imanes permanentes.

Diseño Darrieus con álabes rectos

El rotor Darrieus de álabes rectos es otro tipo de variación que describió Darrieus en su documento de patente (Patente n.º US1835018, 1931), ver figura 9. En esta turbina se usan perfiles alares que se unen al rotor dispuesto de manera vertical. La unión puede ser fija o móvil. Cuando es móvil, se puede cambiar la dirección del ala de acuerdo con el ángulo de incidencia del viento y su velocidad. Loi Lei y Tze-Fun en *A Novel Wind Energy System Power & Energy Society General Meeting* (2009) demuestran que la implementación de álabes móviles permite lograr el torque de arranque con velocidades de viento menores.

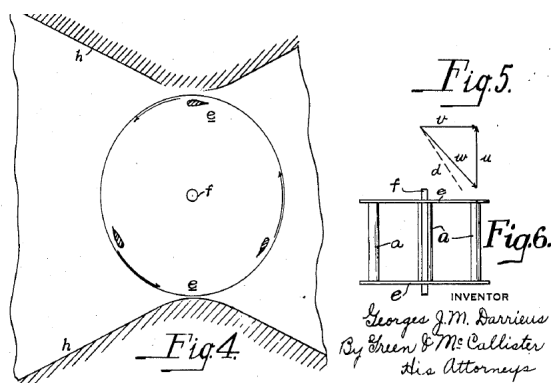


Figura 9. Aerogenerador Darrieus de álabes rectos, patente de 1931, US1835018

Fuente: (Patente n.º US1835018, 1931).

Cuando el rotor posee solo dos álabes, se denomina rotor tipo H. Los rotores Giromill tienen tres álabes rectos con un C_p cercano a 0,23, tal como se observa en la figura 10.

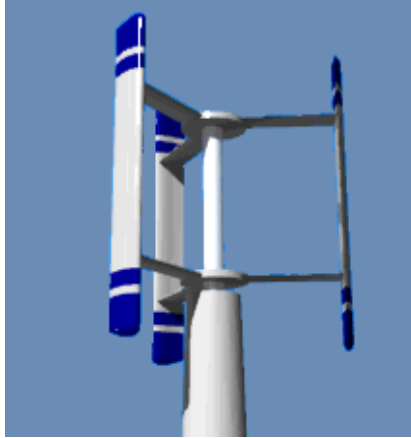


Figura 10. Generador Giromill.

Fuente: (El-Samanoudy, Gorab, & Youssef, 2010).

(El-Samanoudy, Gorab, & Youssef, 2010) desarrollan pruebas con turbinas de eje vertical Giromill realizando variaciones a algunos parámetros de diseño entre los que se encuentran el ángulo de orientación, el número de álabes, el tipo de álabe, el radio de la turbina y la longitud de la cuerda del álabe. Dentro de todas las pruebas realizadas, se obtiene que la configuración NACA 0024, con un ángulo de ataque de 10° , longitud de cuerda de $0,15$ m y 3 álabes es la que presenta un mejor desempeño en condiciones de viento de 10 m/s, obteniéndose un coeficiente de potencia del $0,23$. En la figura 11 se presenta la gráfica C_p vs. β para diferentes perfiles NACA estudiados. La figura 12 muestra la gráfica C_p vs. α para dichos perfiles.

Los parámetros importantes dentro de la simulación en ambos casos son el diámetro de la turbina D , el número de álabes N , la longitud de la cuerda del álabe c y el ángulo de ataque α .

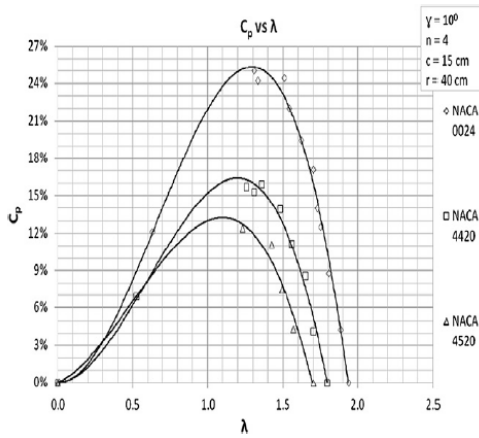


Figura 11. Gráfico de C_p vs. λ para diferentes perfiles NACA.

Fuente: (El-Samanoudy, Gorab, & Youssef, 2010).

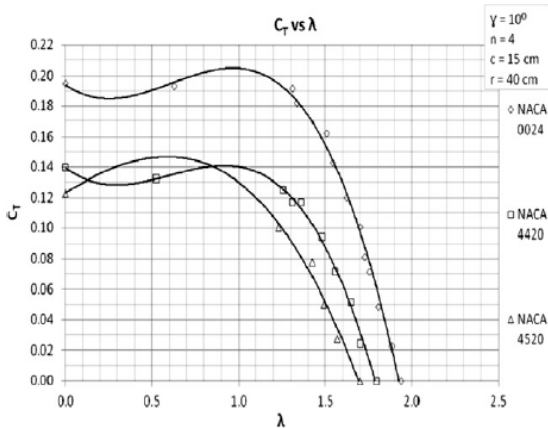


Figura 12. Gráfico de C_t vs. λ para diferentes perfiles NACA.

Fuente: (El-Samanoudy, Gorab, & Youssef, 2010).

La turbina Darrieus de álabes rectos se combina con alerones en algunos diseños con el objetivo de lograr disminuir el torque de arranque necesario para que comience la generación de energía. Se han desarrollado estudios, como el llevado a cabo por (Naoi, Tsuji, Shiono, & Suzuki, 2015), que analizan la variación del án-

gulo de los alerones de la turbina. Dependiendo de si estos se encuentran fijos o no, se llega a la conclusión que los álabes fijos generan mayor resistencia al viento, lo que hace que sea necesario un mayor torque para el arranque, sin embargo, cuando se implementan alerones móviles, tipo H y tipo R, se disminuye el torque de arranque, lo que implica que el aerogenerador puede trabajar a velocidades de viento más bajas. La diferencia entre estos dos tipos de álabes es el material del cual están fabricados, siendo el primero un alerón de aluminio, en tanto el segundo consta de accesorios de aluminio y una lámina de polietileno tereftalato. Ambos tipos de álabes poseen las mismas dimensiones.

El aerogenerador VGOT (Variable Geometry Oval Trajectory) (Ponta, Seminara, & Otero, 2007) hace parte de las denominadas turbinas de eje vertical no convencionales. Este tipo de turbinas involucra una solidez estructural considerable debido a que supone que los álabes en vez de girar alrededor de un rotor central, se posicionan sobre unos vagones que forman una estructura reticular que da soporte al diseño. De la parte inferior de este se desprenden ruedas que permiten que el dispositivo sea móvil teniendo un movimiento ascensional al deslizarse sobre rieles, ver figura 13. Cada vagón sobre el que se encuentran ubicados los álabes posee su propio sistema de generación eléctrica, el cual está interconectado por un sistema clásico de tercer carril.

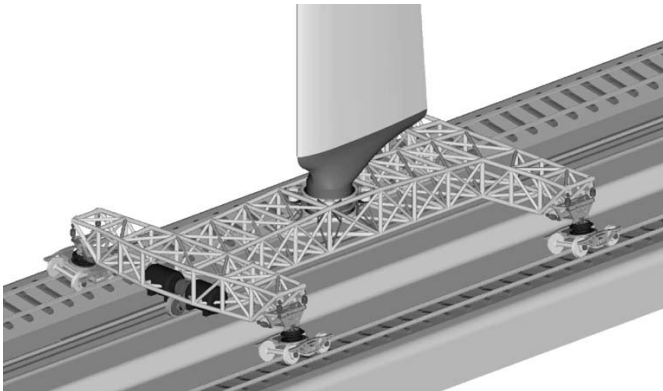


Figura 13. Configuración estructural de un VGOT.

Fuente: (Ponta, Seminara, y Otero, 2007).

Se proponen tres parámetros adimensionales: C_p equivalente, coeficiente de solidez y eficiencia de trayectoria, para caracterizar el rendimiento de este tipo de aerogeneradores. De igual manera, se establece que si se mantiene constante la velocidad de los vagones, se logra una mayor área de barrido de los perfiles alares.

El rotor Darrieus–Masgrowe (Gorelov y Krivospitsky, 2008) con rotor de dos niveles (two-tier en inglés) es otro tipo de ensamble de álabes rectos. Básicamente consiste en ubicar en dos niveles dos turbinas Darrieus de tres álabes rectos cada una, desfasadas una de la otra en 90° , ver figura 14. Los extremos de los álabes están conectados por anillos. La estructura se encuentra reforzada con travesaños que se ubican en el plano medio del rotor.



Figura 14. Rotor Darrieus-Masgrowe con dos niveles.

Fuente: (Gorelov y Krivospitsky, 2008).

El aerogenerador de las placas giratorias (Zhang, Chen, y Wang, 2010), ver figura 15, consta de dos álabes ubicados perpendicularmente, lo que permite un mejor aprovechamiento energético

del viento. De la misma manera, posee una mejor capacidad de autoarranque que otros diseños. Su diseño simple y su fabricación sencilla posibilita que sea viable para zonas no interconectadas, como es el caso de áreas montañosas. La estabilidad del diseño para escalarlo a mayores tamaños o con velocidades de viento mayores, no ha sido estudiada aún.

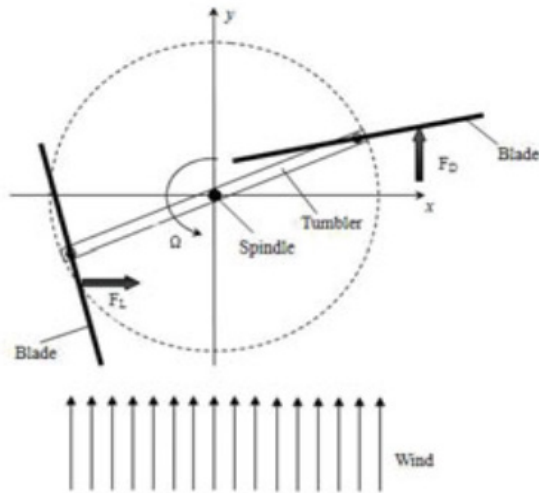


Figura 15. Vista de planta del aerogenerador de dos placas giratorias.

Fuente: (Zhang, Chen, y Wang, 2010).

Como observaciones importantes para tener en cuenta en el diseño de aerogeneradores de eje vertical de álabes rectos, se puede afirmar, según resultados de estudios más recientes, que la sección transversal de cada álabe puede tener diferentes formas geométricas, siendo las más utilizadas aquellas de perfil alar.

El añadir más álabes con la misma longitud de cuerda no mejora de manera notoria el rendimiento del aerogenerador, por el contrario, afecta el peso y el balance del rotor, así como la carga estructural (Howell, Qin, Edwards, y Durrani, 2010). Los álabes rectos facilitan la fabricación, disminuyendo los costos generados

de manufactura de ellos. La geometría de perfil alar ha probado ser más eficiente que otros diseños propuestos para aerogeneradores de eje vertical.

Autoarranque

Una de las principales inquietudes que aparece al momento de trabajar con el diseño de un aerogenerador de eje vertical es el saber si tendrá o no autoarranque. El autoarranque se define como la capacidad que tiene el aerogenerador para acelerar desde el reposo hasta una razón de la velocidad de la punta TSR, en la cual el empuje se genere de manera continua sobre la trayectoria de vuelo Darrieus. El TSR de operación final está en un punto de equilibrio en el que los torques resistivos y aerodinámicos se igualan (Worasinchai, Ingram, y Dominy, 2016). Existen otras definiciones para el autoarranque en las que se considera que la máquina ha arrancado si ha acelerado desde el reposo hasta una condición en la cual los álabes operan a una velocidad constante que excede la velocidad del viento, es decir, a una razón de velocidad de la punta TSR > 1 (Lunt, 2005).

En el estado del arte se encuentran diversas soluciones para abordar las limitaciones en el arranque del generador de eje vertical Darrieus tipo Giromill. Se ha propuesto el uso de una veleta guía (Takao et al., 2009), uso de configuraciones híbridas Savonius (turbina de arrastre) y Darrieus (turbina de sustentación) (Gupta, Biswas y Sharma, 2008) (Alam y Iqbal, 2009) (Wakui, Tanzawa, Hashizume y Nagao, 2004), uso de mecanismos para optimizar el ángulo de los álabes (Cooper y Kennedy, 2004) (Paraschivoiu, Trifu y Saeed, 2009), uso de palas que cambian su forma durante la operación (Bhatta, Paluszek y Mueller, 2008), uso de un concentrador para turbina eólica con el fin de optimizar el flujo de viento (Orosa, García-Bustelo y Prez, 2009), o un perfil de aspa capaz de ofrecer capacidad de arranque a la turbina sin componentes extra (Kirke, 1998) (Dominy, Lunt, Bickerdyke y Dominy, 2007).

El autoarranque se basa solo en el perfil de los álabes, sin ayuda de potencia externa y sin comprometer el desempeño de la tur-

bina eólica a alto TSR (Bianchi, Bolognani, Fornasiero, Morandin y Pavesi, 2012). Se ha demostrado que un rotor de tres álabes siempre tiene el potencial de autoarranque en condiciones de viento estables, mientras que el arranque de un dispositivo con dos álabes depende de la orientación inicial que tenga (Dominy, Lunt, Bickerdyke y Dominy, 2007).

Para la geometría constructiva de la turbina eólica (Worasinchai, Ingram y Dominy, 2016), se debe tener en cuenta la razón cuerda-diámetro del rotor (c/D) y la relación de aspecto envergadura-cuerda (S/c). Estos parámetros tienen influencia directa sobre la capacidad de la turbina para poder autoarrancar. Se recomienda trabajar en un valor de razón cuerda-diámetro (c/D) entre 0,12 y 0,14 para permitir que el tiempo de arranque del aerogenerador sea lo menor posible. También se aconseja trabajar con una relación de aspecto (envergadura-cuerda) entre 5,71 y 16,7, teniendo en cuenta que estos valores así mismo dependen de la elección del perfil alar para la turbina (Worasinchai, Ingram y Dominy, 2016).

Los perfiles alares comúnmente usados en aerogeneradores de eje vertical son los NACA 0012, NACA 0015 y NACA 0018. Sin embargo, estudios recientes (García Rodríguez, 2014) (Claesens, 2006) han mostrado la mayor eficiencia que se puede obtener trabajando con perfiles como el DU-06-W-200. Se observa que para un mismo número de Reynolds, los coeficientes de sustentación obtenidos por este último perfil superan en un promedio de 23,3 % los valores obtenidos para el perfil NACA 0018.

Diseños para generación de pequeña escala (micro-generación)

Existen diversos modelos disponibles de aerogeneradores con generación menor a 1 kW. De acuerdo con (Adomavicius, Warkowski, Zilinskas y Adomavicius, 2009) los mejores aerogeneradores de eje vertical son: FSW Gyro-Extreme 5 (500 W), FSW Gyro-5 (500 W), Verticalrotor 0.3 (300 W) y WindGen1000 (1.000 W). Se llega a esta conclusión luego de comparar catorce diseños comerciales con datos disponibles en Internet. La com-

paración se realiza según el índice de efectividad de costo que relaciona el costo de la turbina con la potencia generada a una velocidad del viento de 10 m/s. El otro índice que se utiliza para realizar la comparación es el que relaciona la potencia producida con la masa del rotor del aerogenerador. Un tercer índice utilizado es el que compara la potencia generada con una velocidad del viento de 10 m/s y el área de barrido. Finalmente se calcula un cuarto índice que combina el primer y tercer índices.

Según (Dominy, Lunt, Bickerdyke y Dominy, 2007), los aerogeneradores de eje vertical tipo Darrieus tienen ventajas potenciales para aplicaciones domésticas de pequeña escala. Para tales aplicaciones, los temas de costo y confiabilidad son muy importantes, de ahí que la simplicidad es vital tanto en el diseño de la estructura, como en el diseño del generador y cualquier parte componente del sistema.

3. Descripción del método de diseño

El producto que se quiere obtener es un aerogenerador de eje vertical de pequeña escala que corresponde con la clasificación de microgeneración, es decir, menor de 1 kW. Se desea obtener un diseño de aerogenerador cuyos componentes sean ligeros, resistentes, de fácil transporte y ensamble en zonas de difícil acceso, cuyo proceso de manufactura se pueda realizar con las herramientas tecnológicas disponibles en la región. También se desea que el mantenimiento del aerogenerador sea mínimo, que las partes de repuesto sean fáciles de conseguir o fabricar, y que la puesta en marcha sea sencilla para que los habitantes de la zona elegida puedan manipular la máquina de una manera segura, garantizando su duración y funcionamiento durante el tiempo de vida de diseño.

El método de diseño consiste en establecer en primer lugar las especificaciones de diseño, luego proponer una configuración geométrica. Una vez definida la máquina se procede con la determinación de las cargas y el cálculo de los esfuerzos en los puntos críticos de cada elemento componente. Finalmente se aplica una

ecuación de diseño apropiada para obtener los factores de seguridad correspondiente. Si el factor de seguridad es menor que uno, se deben ajustar las dimensiones o seleccionar un material con mayor resistencia.

Especificaciones de diseño

De acuerdo con lo estudiado en el estado actual de la técnica, se propone realizar el diseño de un aerogenerador de eje vertical de álabes rectos por la facilidad de construcción. Como se mencionó en el estado de la técnica, se ha demostrado que los aerogeneradores de álabes rectos tienen capacidad de autoarranque si se cumplen ciertas condiciones geométricas. Esta característica simplifica el diseño pues no se debe trabajar con otras configuraciones como las híbridas formadas por rotores Savonius, ni se debe recurrir a fuentes externas para iniciar el giro del sistema a bajas velocidades del viento.

El aerogenerador se compone de tres álabes. Al ser un aerogenerador de eje vertical, permite su instalación en zonas donde se presenten flujos de viento turbulentos. Los álabes permanecen fijos, sin ningún sistema de reorientación. Esto se hace así porque inherentemente las turbinas eólicas tipo Darrieus están diseñadas para no ser reorientadas, y además se desea tener el menor número de partes móviles dentro del sistema por motivos de minimizar trabajos de mantenimiento posteriores. También se usan alerones en los extremos de los álabes para mejorar su aerodinámica.

Como se indicó en el estado de la técnica, estos aerogeneradores no necesitan de torres de soporte altas. La altura de la torre de soporte se selecciona teniendo en cuenta el fácil montaje y desmontaje, así como la garantía de seguridad para las personas que van a transitar cerca de la máquina.

Se desea que el aerogenerador tenga una potencia en el eje de mínimo 300 vatios. Este requerimiento es suficiente para aplicaciones de iluminación en una vivienda que se encuentre localizada en una zona aislada. En cuanto al generador, que realiza

la conversión de energía mecánica de rotación a energía eléctrica, se decide trabajar con un diseño de flujo axial de imán permanente debido a la simplicidad de la geometría, a la facilidad de manufactura, al poco espacio que ocupa, a la ausencia de un torque resistente y a la disponibilidad comercial de imanes de neodimio-boro-hierro en diferentes formas, de acuerdo con las necesidades del diseñador.

Se selecciona la topología de rotor dual. Esta topología consiste en un estator en medio de dos discos que forman el rotor. El estator contiene las bobinas mientras que el rotor contiene los imanes permanentes. El ensamble de los componentes se realiza de tal manera que existe una tolerancia mínima de espacio libre entre los discos rotores y el estator.

El aerogenerador consta de cuatro subsistemas principales: estructura de soporte, rotor, álabes y generador. Para cada uno de estos subsistemas se detallan a continuación los pasos de cálculo de diseño.

Cálculo de la estructura de soporte

En primer lugar, se plantea el cálculo de la estructura de soporte. Para esto se modela el tubo, sobre el que se apoya el rotor del generador, como una columna. El diseño de columnas considera la carga axial de compresión sobre elementos largos como el principal aspecto por considerar para evitar la falla por pandeo.

Para el diseño de columnas se calcula en primer lugar la razón de esbeltez. La razón de esbeltez es el cociente entre la longitud de la columna y el radio de giro de la sección transversal de la columna. Si la razón de esbeltez es mayor de 10 se considera que la columna es larga. De lo contrario la columna es corta. Si la columna es larga se trabaja con la carga crítica, que corresponde con la máxima carga de compresión que se le puede aplicar a la columna sin que falle por pandeo. Dentro del cálculo también se deben tener en cuenta las restricciones de frontera de la columna. En el caso del aerogenerador, la columna pertenece al caso de columna empotrada-libre, lo que indica que en un extremo se en-

cuentra totalmente restringida de moverse o girar, mientras que en el otro extremo no tiene ningún apoyo (Norton, 2011).

Otro aspecto por definir es si la carga es excéntrica o concéntrica. En el caso de este diseño se considera carga concéntrica pues la disposición de los álabes presenta simetría radial y se espera que idealmente la carga del rotor del aerogenerador sobre la torre de soporte esté ubicada en el centroide de área de la sección transversal.

Cálculo del rotor y de los álabes

El rotor del aerogenerador lo componen tres álabes, los discos móviles del generador, un cilindro de unión para los discos móviles, dos estrellas, tres brazos, una brida superior, seis perfiles en L, un eje de soporte, tornillos de unión y un cojinete de elementos rodantes. Los brazos se unen a los perfiles alares por medio de los perfiles en L.

Para cada elemento componente del rotor se propone la secuencia de cálculo que empieza con la de determinación de las cargas, continúa con el cálculo de los esfuerzos en el punto crítico y termina con la aplicación de una ecuación de diseño apropiada que relaciona los esfuerzos sometidos con los esfuerzos permisibles del material que compone al elemento en estudio. Esta comparación comprende además un factor de seguridad (Norton, 2011).

Y para la determinación de las cargas sobre los elementos componentes del rotor, se utiliza el método de Newton-Euler. Este método inicia con el cálculo de la cinemática de la máquina empezando desde la base de soporte y dirigiéndose hacia la periferia, en este caso conformada por los álabes. Luego se procede con el cálculo de las fuerzas y momentos, iniciando en la periferia de la máquina y terminando en la base de soporte. Este paso se logra usando la segunda y tercera ley de Newton, sobre cada elemento.

Para determinar las fuerzas externas que ejerce el viento sobre los álabes se propone trabajar con las curvas de autoarranque que se estudian en (Worasinchai, Ingram, & Dominy, 2016).

Hill et al. (Hill, Dominy, Ingram, & Dominy, 2009) dividen el proceso de arranque de un aerogenerador tipo Darrieus en cuatro fases principales. La primera fase consiste en una aceleración constante. En la segunda fase, conocida como *banda muerta*, el aerogenerador se mantiene prácticamente a velocidad angular constante, la velocidad angular se incrementa, pero a una tasa muy pequeña. Luego aparece una tercera fase en la cual el rotor se acelera rápidamente a un $TSR > 3$ para finalmente en una cuarta fase estabilizarse en la velocidad angular alcanzada.

La figura 16 muestra la curva característica de arranque de un aerogenerador de eje vertical tipo Darrieus para una velocidad del viento de 6 m/s en el cual se identifican las fases de arranque mencionadas anteriormente.

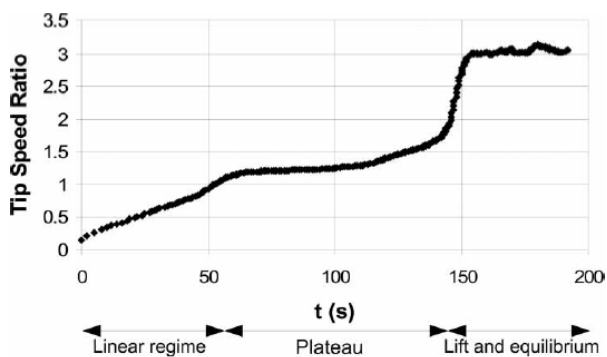


Figura 16. Fases presentes en el arranque de un aerogenerador de eje vertical. Velocidad del viento igual a 6 m/s.

Fuente: (Hill, Dominy, Ingram, & Dominy, 2009).

Cálculo del generador

El generador que se propone consta de un rotor dual y un estator central. El estator se compone de bobinas suspendidas en un material de soporte rígido. El número de vueltas de alambre por bobina es una variable del diseño que puede ser flexible. Mayor número de espiras produce voltajes de salida más elevados

(WindGenKits, 2017). Un mayor número de espiras también disminuirá la velocidad de corte (cut-in speed, en inglés), en la cual el generador comenzará a cargar el banco de baterías. Sin embargo, también se debe tener en cuenta que un mayor número de espiras aumentará la resistencia eléctrica, lo cual disminuye la eficiencia. Para turbinas que aprovechan la fuerza de arrastre, un buen inicio consiste en trabajar entre 70 y 80 espiras por bobina.

Para aerogeneradores basados en las fuerzas de sustentación que giran a mayores velocidades angulares, se recomienda comenzar con 50 a 60 espiras por bobina. El voltaje de salida es directamente proporcional al número de espiras. Se ha probado experimentalmente que para aerogeneradores de eje vertical conformados por tres álabes de perfil alar y un generador de flujo axial de imán permanente, existe una relación lineal entre el número de revoluciones, el número de espiras por bobina y el voltaje de salida DC obtenido. Con 60 espiras por bobina a 150 rpm el voltaje rectificado es de 16 V. Esto se traduce en 0,107 V/rpm. De modo semejante, un estator con 70 espiras por bobina generará un voltaje rectificado de 18 V DC a 150 rpm. Esto equivale a 0,120 V/rpm. Es más, si se dividen estas razones entre el correspondiente número de espiras se tiene la razón constante de $1,71 \cdot 10^{-3} \text{ V}/(\text{rpm} \cdot \text{espiras})$. Esta relación ha sido obtenida experimentalmente en (WindGenKits, 2017). Las nueve bobinas se conectan en la configuración de estrella. La salida de las tres fases se rectifica para generar el voltaje DC.

El diámetro del conductor utilizado para fabricar las bobinas que conforman el estator debe ser el mayor posible con el fin de disminuir la resistencia eléctrica y así obtener mayor eficiencia, pues se perderá menos energía por calor. Esto significa que se debe encontrar un equilibrio entre el tamaño del estator, el número de espiras por bobina y el diámetro del alambre. Experimentalmente se ha encontrado que para un rotor de 9 pulgadas de diámetro (como el usado en este proyecto), un alambre 15 AWG es un buen tamaño cuando se emplean entre 60 y 80 espiras por bobina (WindGenKits, 2017).

4. Resultados

La configuración geométrica del aerogenerador de eje vertical propuesto en este estudio se muestra en la figura 17. El aerogenerador diseñado se ajusta a las especificaciones de diseño planteadas al inicio. La longitud de los álabes es de 3 m. La cuerda del perfil alar es de 25 cm. El radio del rotor del aerogenerador es de 1 m. Estas dimensiones son seleccionadas para tener capacidad de autoarranque. La altura de la torre de soporte es de 2,5 m.

El rotor del generador consiste en dos discos de acero con 12 pares de imanes permanentes (polos) con geometría trapezoidal para conformar el rotor. Cada par de imanes (polo) se localiza sobre los discos del rotor con la cara norte expuesta en un disco y con la cara sur expuesta en el otro disco. Así se ensamblan los 12 polos en pares norte sur. El estator está conformado por 9 bobinas trapezoidales. La forma trapezoidal permite obtener una longitud activa más grande comparada con otras posibles formas como la circular.

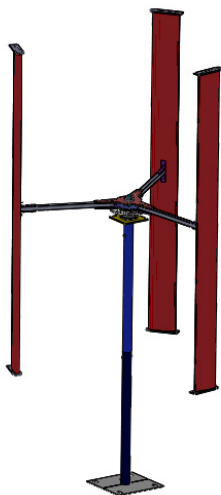


Figura 17. Vista de perspectiva del aerogenerador diseñado en este proyecto. Se observan los cuatro subsistemas principales: torre de soporte, generador, rotor y álabes.

Cada bobina tiene 70 espiras de cable calibre 15 AWG. El sistema de almacenamiento de energía consta de un rectificador, un regulador y baterías. El sistema de almacenamiento se ubica en el piso, al nivel de la placa de soporte.

La placa de soporte se ha diseñado de tal manera que permita el fácil izado de la turbina eólica. En la figura 18 se ilustra la forma en que esta placa ha sido dividida en dos partes, de tal manera que, durante el montaje, una mitad va unida a la placa de concreto que sirve de cimiento, mientras que la otra parte queda libre para ajustarse una vez se ha realizado el izado del aerogenerador. Para mejor visualización, en la figura 18 se muestra con la tubería transparente. Se observa dentro del cilindro que sirve para acoplar la tubería antes de realizar el izado de la estructura.

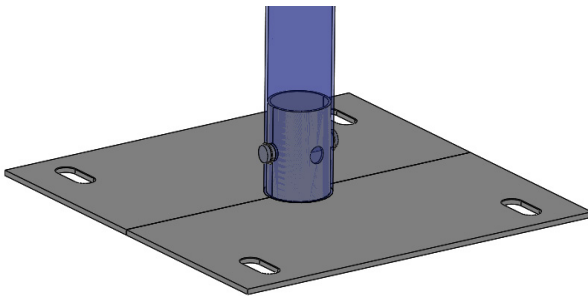


Figura 18. Vista de perspectiva de la placa de soporte. El tubo que forma parte de la columna se visualiza transparente para poder detallar cómo la placa base se une a la columna.

La columna de soporte ha sido dividida en dos partes para permitir el fácil ensamble de las partes. En la figura 19 se muestra el detalle de la forma en la que se realiza la unión de los dos tubos que conforman la columna de soporte.

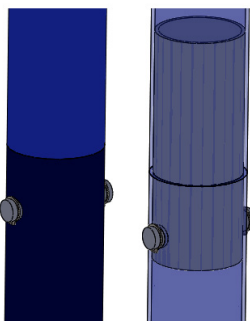


Figura 19. Vista de perspectiva del sistema de unión de los tubos componentes de la columna de soporte. A la derecha se muestra una visualización con el tubo transparente para apreciar mejor los detalles internos de unión.

En la figura 20 se muestra un acercamiento del rotor. El rotor está compuesto por dos estrellas metálicas unidas a una brida superior. La estrella inferior se acopla a los discos móviles del generador por medio de un cilindro separador y unos tornillos.

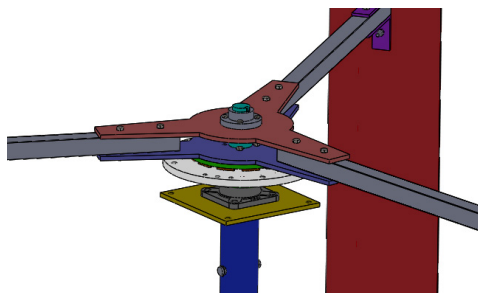


Figura 20. Vista de perspectiva del rotor del aerogenerador. También se observa el estator que contiene las 9 bobinas.

En la figura 21 también se observa el estator que está unido a la torre de soporte por medio de unos tornillos (no mostrados en la figura) a una placa horizontal. La placa horizontal sirve de apoyo a una chumacera de piso que a su vez aloja al eje, alrededor del cual gira todo el conjunto del rotor del aerogenerador.

De las estrellas salen tres brazos de perfil metálico cuadrado que se unen en su extremo distal a los álabes. La unión entre cada perfil metálico cuadrado y cada álabe se logra mediante perfiles en L y tornillos pasantes (ver figura 21).

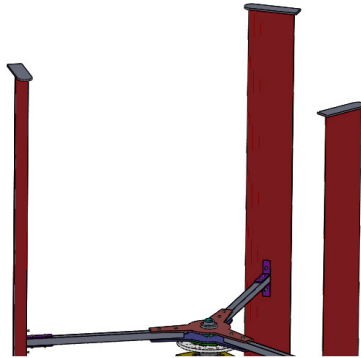


Figura 21. Vista de perspectiva del brazo metálico de sección cuadrada y perfiles en L junto con los tornillos pasantes utilizados para fijar el rotor a los álabes del aerogenerador.

Los perfiles alares tienen en sus extremos unos alerones (*winglets*) que se han dispuesto de esta manera para mejorar el desempeño aerodinámico del sistema (ver figura 22).

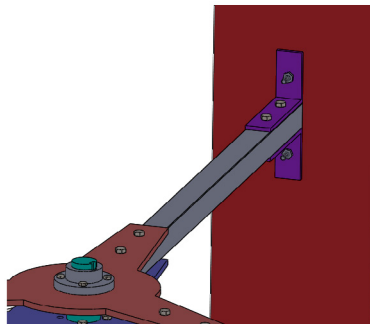


Figura 22. Vista de perspectiva que muestra los alerones (*winglets*) en los extremos superiores de los álabes. Los alerones también están presentes en los extremos inferiores.

5. Conclusiones

En este estudio se propone una metodología para el diseño de aerogeneradores de eje vertical de álabes rectos, para su uso en zonas no interconectadas del territorio nacional.

Se demuestra con este método sistemático de diseño que es posible fabricar, ensamblar y mantener estas máquinas con los mínimos requerimientos de herramientas y procesos de manufactura.

La capacidad de autoarranque permite que a partir de ciertas características geométricas de diseño se pueda obviar el uso de elementos adicionales al sistema de generación básico. Esto es muy importante para ahorrar costos tanto de manufactura como de mantenimiento.

El uso de rodamientos lubricados de por vida es una opción atractiva para reducir al mínimo el mantenimiento de estas máquinas.

El diseño obtenido es portable y permite hacer el montaje en zonas de difícil acceso. La máquina es de funcionamiento simple, lo que permite que un usuario con una capacitación básica pueda solucionar problemas que se lleguen a presentar, así como realizar el mantenimiento requerido.

Es posible planear una fabricación en masa de estas máquinas. Esto es un aspecto que va en concordancia con la tendencia de una generación distribuida de energía.

Como trabajo futuro se planea construir el aerogenerador diseñado y medir su desempeño en el laboratorio y en pruebas de campo. También se desea hacer uso intensivo de análisis computacionales con dinámica de fluidos computacional y simulación de sistemas electromagnéticos para poder anticipar con mayor precisión el desempeño del aerogenerador en diferentes escenarios.

6. Referencias bibliográficas

- Adomavicius, V., Watkowski, T., Zilinskas, E., y Adomavicius, A. (2009). *Comparison of small scale wind turbines properties*. Proceedings of International Conference "Electrical and Control Technologies - 2009", 374-379.
- Alam, M. J., y Iqbal, M. M. (2009). *Design and development of hybrid vertical axis turbine*. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 1178-1183.
- Aslam, M., Hayat, N., Uzair, A., Ali, Z., Jamil, R., y Hussain, Z. (2012). Vertical axis wind turbine – A review of various configurations and design techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (16), 1926-1939. Recuperado de <https://discoversocialsciences.com/wp-content/uploads/2018/05/Vertical-axis-wind-turbine-%E2%80%93-A-review-of-various-configurations-and-design-techniques.pdf>
- Astamuse. (s. f.). Recuperado de <https://astamuse.com/ja/published/JP/No/2007092599>
- Baldassarra, G. (2015). *Multi-dimensional CFD simulation of a H-type Darrieus Vertical-Axis wind turbine with OpenFOAM*. Italia: Politecnico di Milano.
- Bhatta, P., Paluszek, M., y Mueller, J. (2008). *Individual blade pitch and camber control for vertical axis wind turbines*. Proc. World Wind Energy Conference. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/0a6d/5a352a2c0379c3c-ff9e780887755047e42e2.pdf>
- Bianchi, N., Bolognani, S., Fornasiero, E., Morandini, M., y Pavesi, G. (2012). *Optimal drive and machine sizing for a self starting, vertical axis, low power wind generator*. 2012 IEEE International Energy Conference and Exhibition, ENERGYCON 2012, 178-183. 10.1109/EnergyCon.2012.6347747.
- Blackwell, B., Sheldahl, R., y Feltz, L. (1977). *Wind tunnel performance data for two and three bucket savonius rotors*. Estados Unidos: National Technical Information Service. U. S. Department of Commerce. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.473.9965&rep=rep1&type=pdf>

- Claessens, M. C. (2006). *The design and testing of airfoils for application in small vertical axis wind turbine*. (Tesis de maestría, Delft University of Technology, Países Bajos. Recuperado de http://lr.home.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/LR/Organisatie/Afdelingen_en_Leerstoelen/Afdeling_AEWE/Aerodynamics/Contributor_Area/Secretary/M._Sc._theses/doc/2006_1_17.pdf
- Cochrane, R. (26 de enero de 2005). *United Kingdom Patent Application n.º GB 2 404 227*. Recuperado de <https://ore.exeter.ac.uk/repository/bitstream/handle/10871/18456/GB2404227A%20QR.pdf?sequence=1>
- Cooper, P., y Kennedy, O. (2004). *Development and analysis of a novel Vertical Axis wind turbine*. Proceedings Solar 2004 - Life, The Universe and Renewables, 1-9. Perth, Australia: Australian and New Zealand Solar Energy Society (ANZSES).
- Darrieus, J. M. (1931). *Patente n.º US1835018A*. Recuperado de <https://www.google.com/patents/US1835018>
- Debnath, P., y Gupta, R. (2013). Flow Physics Analysis of Three-Bucket Helical Savonius Rotor at 90° Twist Angle Using CFD. *International Journal of Modern Engineering Research*, (3), 739-746.
- Dominy, R., Lunt, P., Bickerdyke, A., y Dominy, J. (2007). Self-starting capability of a Darrieus turbine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 221(1), 111-120. <https://doi.org/10.1243/09576509JPE340>
- El Yazigi, N. (2009). *Francia Patente n.º WO/2009/092867*. Recuperado de <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2009092867>
- El-Samanoudy, M., Gorab, A., y Youssef, S. (Septiembre de 2010). Effect of some design parameters on the performance of a Giromill vertical axis wind turbine. *Ain Shams Engineering Journal*, 1(1), 85-95. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447910000134>
- Flin, D., y Pool, R. (Octubre-noviembre de 2005). Great creations [alternative energy]. *Power Engineer*, 19(5), 14-17. doi: 10.1049/pe:20050501
- García, L. F. (2014). *Análisis aerodinámico del perfil de los álabes de una turbina eólica de eje vertical mediante simulación en 2D*

- usando CFD. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Gipe, P. (7 de febrero de 2013). *FloWind: the world's most successful VAWT (Vertical Axis Wind Turbine)*. Wind-works.org. Recuperado de http://www.wind-works.org/cms/index.php?id=64&tx_ttnews%5Btt_news%5D=2194&cHash=d1b21f3bd1f35d9e4804f1598b27bd86
- Giraldo, M., Nieto, C., Flórez, D., Escudero, A., López, S., y Fernández, M. (2013). *Colombia patente n.º US20130341933A1*. Recuperado de <http://www.google.ch/patents/US20130341933>
- Gorelov, D., y Krivospitsky, V. (Marzo de 2008). Prospects for development of wind turbines with orthogonal rotor. *Thermophysics and Aeromechanics*, 15(1), 153-157.
- Gupta, R., Biswas, A., y Sharma, K. (Septiembre de 2008). Comparative study of a three-bucket Savonius rotor with a combined three-bucket Savonius-three-bladed Darrieus rotor. *Renewable Energy*, 33(9), 1974-1981. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.12.008>
- Hill, N., Dominy, R., Ingram, G., y Dominy, J. (2009). Darrieus turbines: the physics of self-starting. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, (223), 21-29. [10.1243/09576509JPE615](https://doi.org/10.1243/09576509JPE615).
- Howell, R., Qin, N., Edwards, J., y Durrani, N. (2010). Wind tunnel and numerical study of a small vertical axis wind turbine. *Renewable Energy*, 35(2), 412-422. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.025>
- Kirke, B. (1998). *Evaluation of self-starting vertical axis wind turbines for stand-alone applications*. (Tesis, Griffith University, Australia).
- Kliux energies. (s. f.). Recuperado de <http://www.kliux.com/?s=-geo+1800>
- Loi Lei, L. (ed.). (Noviembre de 2001). *Power system restructuring and deregulation: trading, performance and information technology*. Estados Unidos: John Wiley & Sons.
- Loi Lei, L., y Tze-Fun, C. (2009). *A Novel wind energy system power & energy society general meeting*. IEE Power and Energy Society.

- Lunt, P. (2005). *An aerodynamic model for a vertical-axis wind turbine*. MEng project report, University of Durham.
- Naoi, K., Tsuji, K., Shiono, M., y Suzuki, K. (2015). Study of Characteristics of Darrieus-type Straight-bladed vertical axis wind turbine by use of ailerons. *Journal of Ocean and Wind Energy*.
- Norton, R. (2011). *Diseño de máquinas. Un enfoque integrado*. Cuarta edición. México: Pearson Educación. Recuperado de https://www.academia.edu/38323857/Dise%C3%B1o_de_Maquinas_4edi_Norton
- Orosa, J., Garca-Bustelo, E., y Prez, J. (2009). *Wind turbine concentrator design based on moist air phase change*. Proc. 2009 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives.
- Paraschivoiu, I., Trifu, O., y Saeed, F. (2009). H-Darrieus wind turbine with blade pitch control. *International Journal of Rotating Machinery*. doi: 10.1155/2009/505343.
- Ponta, F., Seminara, J., y Otero, A. (Enero de 2007). On the aerodynamics of variable-geometry oval-trajectory Darrieus wind turbines. *Renewable Energy*, 32(1), 35-56. DOI: 10.1016/j.renene.2005.12.007
- Sharma, R., y Patel, B. (Mayo de 2015). Design and simulation of Darrieus (Eggbeater) type vertical axis wind turbine using open source software Q Blade. *IJRST, International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1(12), 029. Recuperado de <http://www.ijrst.org/articles/IJRSTV1112074.pdf>
- Sharpe, T., y Proven, G. (2010). Crossflex: concept and early development of a true building integrated wind turbine. *Energy and Buildings*, (42), 2365-2375.
- Steele, W. (2008). *Estados Unidos patente n.º WO/2008/157174*. Recuperado de <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2008157174&recNum=1&maxRec=&office=&prevFilter=&sortOption=&queryString=&tab=PCT+Biblio>
- Takao, M., Kuma, H., Maeda, T., Kamada, Y., Oki, M., y Minoda, A. (Marzo de 2009). A straight-bladed vertical axis wind turbine with a directed guide vane row. Effect of guide vane geometry on the performance. *Journal of Thermal Science*, 18(1), 54-57.

- Wakui, T., Tanzawa, Y., Hashizume, T., y Nagao, T. (2004). Hybrid configuration of Darrieus and Savonius rotors for stand-alone power systems. *Electrical Engineering in Japan*, 150(4), 13-22. DOI: 10.1002/eej.20071
- WindGenKits. (29 de junio de 2017). *How to build a PMA permanent magnet alternator generator for wind turbines*. Recuperado de <https://www.windgenkits.com/pages/test-page-with-tech-stuff>
- Worasinchai, S., Ingram, G., y Dominy, R. (Junio de 2016). The physics of H-Darrieus turbine starting behavior. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 138(6), 062605. doi: 10.1115/1.4031870
- Zephyr Alternative Power Inc. (s. f.). *Zephyr Alternative Power*. Recuperado de <http://www.zephyrpower.com/product-services/>
- Zhang, Q., Chen, H., y Wang, B. (2010). Modeling and simulation of two-leaf semi-rotary VAWT. En Li K., Fei M., Jia L., Irwin G.W. (eds.), *Life system modeling and intelligent computing. ICSEE 2010, LSMS 2010. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6328. Springer, Berlin, Heidelberg. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-15621-2_43

Características y propiedades del sistema de numeración ternario

Characteristics and properties of the ternary numbering system

Características e propriedades do sistema de numeração ternário

Arles Prieto Moreno

Universidad de Cundinamarca,
Facultad de Ingeniería de Sistemas. Chía, Colombia.
aprietom@ucundinamarca.edu.co.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6976-6544>

Resumen

En el presente artículo, se muestran las características y propiedades que presenta el sistema de numeración ternario o base tres. Para ello, se realiza una exposición sobre cada una de las operaciones básicas y el tratamiento de los acarreos según la operación algebraica. También se contemplan dos tipos de nomenclatura: la algebraica o tradicional, utilizada para hacer operaciones matemáticas y conversiones con otros sistemas computacionales, tales como: el decimal, binario, hexadecimal y heptovigesimal. La segunda nomenclatura hace referencia al balanceado, que es la forma como los Circuitos Integrados (IC) procesan la información.

De igual manera, se hace referencia a la lógica ternaria en cuanto a sus ventajas y desventajas, algunas aplicaciones en el ámbito informático y una investigación hecha en la década de los cincuenta por los rusos, cuando desarrollaron unos computadores con este tipo de lógica, pero que finalmente desistieron de ella sin mayores explicaciones; luego se hace una reseña sobre los colores y una analogía entre el sistema ternario y el binario para demostrar su robustez. Esta investigación busca que, en el corto plazo, la información sea capitalizada por la academia para que se inicie el proceso de enseñanza en las carreras afines a la informática y la electrónica, y solo de esta forma

se darán los primeros pasos para que se inicie el proceso de desarrollo de *hardware* y *software*, que sea solución a los verdaderos problemas que se están presentando con el sistema actual.

Palabras clave: *lógica multivaluada, lógica ternaria, operaciones básicas, sistema ternario, ternario balanceado, Setún.*

Abstract

In the present article, the characteristics and properties of the ternary or base three numbering system are shown. To do this, an exhibition is made about each of the basic operations and the handling of the haul according to the algebraic operation. Also, two types of nomenclature are contemplated; the algebraic or traditional, used to make mathematical operations and conversions with other computational systems, such as: the decimal, binary, hexadecimal and heptovigesimal. The second nomenclature refers to the balanced, which is the way the Integrated Circuits (IC) process the information.

Similarly, reference is made to the ternary logic in terms of its advantages and disadvantages, some applications in the computer field, and research done in the 50's by the Russians, where they developed computers with this type of technology logic, but they finally gave up without much explanation; then, a brief review is made about the colors and an analogy between the ternary system and the binary, to demonstrate its robustness. This research seeks that in the short term, all the information is capitalized by the academy so that the teaching process begins in the areas related to computers and electronics and only in this way, the first steps will be taken to start the process of hardware and software development, which is a solution to the real problems that are being presented with the current system.

Resumo

No presente artigo, as características e propriedades do sistema de numeração ternário ou base são mostradas. Para isso, é feita uma exposição sobre cada uma das operações básicas e o manuseio do transporte de acordo com a operação algébrica. Além disso, dois tipos de nomenclatura são contemplados; o algébrico ou tradicional, usado para fazer operações matemáticas e conversões com outros sistemas computacionais, tais como: o decimal, binário, hexadecimal e heptovigésimo. A segunda nomenclatura refere-se ao balanceado, que é o modo como os Circuitos Integrados (IC) processam a informação.

Da mesma forma, é feita referência à lógica ternária em termos de suas vantagens e desvantagens, algumas aplicações no campo da computação e pesquisas feitas nos anos 50 pelos russos, onde eles desenvolveram computadores com esse tipo de tecnologia lógica, mas eles finalmente desistiram sem muita explicação; em seguida, faz-se uma breve revisão sobre as cores e uma analogia entre o sistema ternário e o binário, para demonstrar sua robustez. Esta pesquisa busca que, no curto prazo, toda a informação seja capitalizada pela academia para que o processo de ensino seja ini-

ciado nas áreas relacionadas à informática e eletrônica e só assim os primeiros passos serão dados para que iniciar o processo de desenvolvimento de hardware e software, que é uma solução para os problemas reais que estão sendo apresentados ao sistema atual.

Palavras-chave: *Balanceamento ternário, Lógica multivalorada, Lógica ternária, Operações básicas, Sistema ternário, Setún.*

1. Introducción

Todas las civilizaciones que llegaron a un cierto grado de desarrollo, se han caracterizado por contar con algún sistema de escritura y numeración, que les permitió estructurarse como comunidad y, de los cuales, hoy se conservan en muchas bibliotecas del mundo documentación rescatada por exploradores y personal dedicado a la arqueología. Gracias a esas evidencias y con ayuda de la tecnología, se ha logrado reconstruir el pasado para conocer la forma como interactuaban entre comunidades. Se destaca de las investigaciones realizadas por personal experto, que a pesar de que no había contacto entre muchas comunidades por encontrarse en lugares geográficos diferentes, hay una gran similitud tanto en su arquitectura, como en la forma como realizaban los cálculos matemáticos.

Un ejemplo de ello fueron los mayas, quienes tenían un sistema posicional base 20, que posteriormente fue utilizado por los aztecas. En este sentido, Boixados, Palermo y Rojas (1999) sostienen que “con esta base, las cifras se formaban con barras horizontales que representaban cinco unidades y puntos para una, haciendo uso para las barras de vainas de un vegetal y para los puntos de semillas”. Estos conocimientos les permitieron desarrollar una astronomía muy completa, predecir con exactitud eclipses e identificar los ciclos del planeta Venus, así como los de la Tierra y su satélite; igual pasó con los babilonios, los incas, los egipcios, etc.

Así como estas culturas tuvieron la necesidad de crear un sistema de numeración, lo propio hicieron matemáticos como Leibniz

en el siglo XVIII, quien le dio una gran transcendencia al sistema binario, pero que no tuvo éxito en su implementación debido a que le fue muy difícil convencer a los niños para que dejaran de utilizar los dedos de las manos para hacer los primeros cálculos, perdurando hasta la fecha el sistema base 10.

Con el tiempo, George Boole propone el álgebra del sistema binario, dándole una connotación filosófica y, un siglo más tarde, Claude Shannon lo mezcla con la electrónica, originando la lógica digital y, con ella, se genera un salto en la historia de la humanidad, al trascender las fronteras del espacio gracias al avance tecnológico logrado.

Con el continuo avance en las TIC y la aparición de tecnologías emergentes, el sistema binario por su misma estructura tiende a hacer lentos los procesos, obligando a la industria tecnológica a buscar otras alternativas para subsanar las falencias y los vacíos que se han iniciado a evidenciar con el sistema actual; ejemplo de ello, es la miniaturización de los circuitos integrados, especialmente los procesadores, los cuales a partir de enero de 2006 cambiaron su arquitectura y se iniciaron a hacer arreglos internos con varios núcleos. En este aspecto, Sanjur (2016) afirma que “Intel lanza al mercado un procesador de sexta generación, el cual dispone de dos núcleos, haciéndolo ideal para aplicaciones de subprocesos múltiples y multitarea”. Actualmente, se ha llegado a la generación de procesadores de familia Intel Core i9 7980XE (Bryant, 2017) con 18 núcleos (9 reales y 9 virtuales) y 36 hilos, y los procesadores AMD Ryzen Threadripper (Advanced Micro Devices, 2018), con 32 núcleos reales y 64 hilos, que han revolucionado los procesos internos de los computadores con respecto a sus predecesores en cuanto a velocidad de procesamiento, tamaño nanométrico, potencia y bajo consumo, en los cuales la inteligencia artificial es el común para ambas familias, dotándolos de cierto grado de autonomía en cuanto a la gestión y administración de información que circula por sus núcleos.

Sumado a lo anterior, otro de los inconvenientes que actualmente se presentan con el uso del sistema binario es que ya se llegó al mínimo de miniaturización posible en la fabricación de los IC; esto se debe a que cada día con el avance tecnológico, se exige

que los circuitos tengan más valores agregados para que hagan el elemento diferenciador con respecto a la competencia, pero las áreas que se tienen para armar los microchip, no se puede reducir más porque al momento de hacer las conexiones internas entre componentes, tanto activos como pasivos —resistencias, condensadores, diodos, transistores, etc.— vuelven inestable a todo el sistema al generarse cortos virtuales.

Dados los antecedentes anteriores, una posible solución es migrar a los sistemas trivalentes o ternarios, los cuales además de mejorar la velocidad de procesamiento, por ser una lógica multivaluada, también pueden ser solución para los problemas de fabricación de IC, así como para aumentar sustancialmente la capacidad de almacenamiento de información y solucionar algunos inconvenientes de estabilidad cuando se transmiten datos seriales a altas velocidades entre dispositivos; para ello, en esta investigación se propone realizar la estructura matemática de los sistemas ternarios, como un primer paso, para que se inicie su enseñanza en los pénsun afines a las carreras tecnológicas.

2. Teorema fundamental

El sistema ternario está constituido por un **conjunto de símbolos** y **reglas** matemáticas que permiten construir **números** válidos. Su representación general es:

$$N = (S, R)$$

En la cual: N representa el sistema de numeración ternario; S , el conjunto de símbolos permitidos en el sistema, en este caso particular $\{0, 1, 2\}$; y R , las reglas matemáticas que indican los números y las operaciones válidas dentro del sistema. En términos computacionales, S y R representan los registros que soportan la lógica en un computador ternario, en el cual los bits son sustituidos por trits y los bytes por trytes.

Tomando el teorema fundamental de la numeración (Varona, 2014; Burzynski y Ellis, 2013), se establece la forma general de

construir números en un sistema de numeración posicional. La representación del sistema de numeración ternario es:

En la cual:

$$N = \sum_{i=0}^{n-1} a_i 3^i = a_{n-1} 3^{n-1} + a_{n-2} 3^{n-2} \dots + a_n 3^n + \dots + a_1 3 + a_0$$

3 es la base del sistema de numeración.

i es la posición respecto al punto.

n , el número de cifras a la izquierda del punto.

a , cada una de las cifras que componen el número.

Hay dos formas generalizadas para representar los números ternarios: por un lado, se tiene el modo convencional o algebraico, en el cual los trits toman los valores de $\{0, 1, 2\}$, siendo este el más adecuado para hacer las operaciones básicas y las conversiones matemáticas con otros sistemas numéricos posicionales y, por otro, el balanceado que utiliza los valores $\{-1, 0, 1\}$ para representar los estados lógicos o la forma como trabajan los sistemas electrónicos. A continuación, se hace una introducción a cada uno de ellos, con el fin de que se comprenda su uso y sus alcances:

3. Sistema ternario $\{0, 1, 2\}$

El sistema ternario es un sistema de numeración posicional en el cual el valor de cada dígito está determinado por la ubicación de este en la expresión dada. El término ternario viene del sistema de numeración base 3 y su unidad fundamental es el trit, el cual toma los valores 0, 1, 2, interpretándose de manera análoga a los bits 0 y 1 clásicos del sistema binario. La unidad fundamental de datos en este sistema es el tryte, que está compuesto por seis trits o 3^6 (0 a 728); las aplicaciones pueden ser tan diversas, por su capacidad superior de procesamiento y almacenamiento de

información, que se convierte en una solución a los vacíos que se presentan con el sistema actual.

Tabla 1. Valor de los números ternarios según su posición.

Trit	3^0	3^1	3^2	3^3	3^4	3^5	3^6	3^7	3^8	3^9	3^{10}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	59,049	19,683	6,561	2,187	729	243	81	27	9	3	1
2	118,098	39,366	13,122	4,374	1,458	486	162	54	18	6	2

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla 1, esta la conforman cuatro filas y un número determinado de columnas, que pueden variar según los requerimientos del caso, en la cual se han ubicado los exponenciales del 3 que van aumentando de derecha a izquierda. Si se desea representar cantidades superiores a los registrados en la tabla, solo basta con agregar más columnas a la izquierda y realizar el respectivo cálculo multiplicando el valor del trit con la base elevada al exponente de interés. Por ejemplo, los valores de las dos primeras columnas de la izquierda se obtuvieron de la siguiente manera:

$$3^0 = 1, \text{ entonces } 0 \times 1 = 0, 1 \times 1 = 1 \text{ y } 2 \times 1 = 2$$

$$3^1 = 3, \text{ entonces } 0 \times 3 = 0, 1 \times 3 = 3 \text{ y } 2 \times 3 = 6$$

Por el aumento exponencial que se tiene en cada columna, se hace evidente su capacidad que es muy superior a su homólogo el binario, debido a que puede contener más información por registro, así como reducir el número de líneas en la programación, por citar un ejemplo y, con ello, mejorar la capacidad de almacenamiento y velocidad de procesamiento de información. También puede solucionar algunos problemas especialmente en la fabricación de los circuitos integrados (IC), por ser una lógica multivaluada o trivalente. Estas tres variables son las principales problemáticas que afronta el sistema actual, por la aparición constante de tecnologías emergentes. En este sentido, Morales (2005) sostiene que:

Algunos problemas en los circuitos integrados binarios tales como empaquetado y refrigeración se han resuelto, pero persiste el problema de la interconexión entre chips, a pesar de que el área de silicio usada para las interconexiones es mayor que el área utilizada para colocar los elementos activos lógicos, y con el uso de la logita ternaria, este problema se puede reducir.

Una de las ventajas que se tiene con este sistema de numeración es el incremento de velocidad cuando se realicen operaciones aritmética-lógicas entre registros, porque se tiene mayor eficacia en la detección de errores y, con ello, una mejor respuesta en el procesamiento de información, lo cual lleva a que se realicen algoritmos más complejos.

Operaciones con ternarios

Las operaciones básicas siguen las mismas reglas conocidas del sistema decimal, solo basta conocer los acarreo de la suma y la resta, que son aquellas cifras que se generan cuando al efectuar una operación, sobrepasa la capacidad permitida. Ejemplo $2 + 1$ o $2 + 2$ para la suma y para la resta, cuando a una cantidad inferior se le resta una superior, como $0 - 1$, $0 - 2$ y $1 - 2$, que por lo general en los sistemas de numeración computacionales cuando esto sucede, se generan dos cifras, de las cuales se coloca una y se lleva la otra.

Suma

Esta operación se puede realizar entre dos o más cantidades, alineándose por la derecha sin importar el número de trits que tenga. Cuando se presente un acarreo, se coloca en la siguiente columna de la izquierda en la parte superior y se debe incluir como una cifra más en la siguiente acción; si se genera otro acarreo aun sin terminar de sumarse todos los trits, se coloca en la columna que le corresponde y se continua la operación hasta finalizarse con el último trit, como se ilustra a continuación en el siguiente ejemplo:

Tabla 2. Acarreos de la suma ternaria.

SUMANDO 1	SUMANDO 2	SUMA	ACARREO
1	2	0	1
2	2	1	1

Fuente: elaboración propia.

Sumar 12221020_3 con 10212100_3

$$\begin{array}{r}
 1111 \text{ Acarreos} \\
 122210203 \\
 + 102121003 \\
 \hline
 100210120_3 \text{ R.}
 \end{array}$$

Resta

Esta operación se efectúa entre dos cantidades llamadas minuendo y sustraendo, y se obtiene un resultado o diferencia. Por lo general el minuendo es la cantidad mayor, pero en caso contrario la respuesta será negativa.

Al igual que en la suma, también se presentan algunos acarreo que se ilustran en la tabla 3, y es muy importante cuando se presenten, ubicarse en la siguiente columna a la izquierda y debajo del minuendo; de lo contrario, el resultado se verá afectado y erróneo.

Tabla 3. Acarreos de la resta ternaria.

MINUENDO	SUSTRAENDO	RESULTADO	ACARREO
0	1	2	1
0	2	1	1
1	2	2	1

Fuente: elaboración propia.

Sistema balanceado

Se caracteriza por que los trits se representan como $\{-1, 0, 1\}$; por haber un trit con negativo, no es necesario hacer uso del signo menos para expresar las cantidades negativas. Esta nomenclatura es la utilizada por los sistemas electrónicos para realizar el procesamiento de la información. Cabe mencionar que también es válido el uso de signos para representar las cantidades anteriores, con igual valor en sus coeficientes, es decir, que $\{-1, 0, 1\}$ se puede reemplazar por $\{-, 0, +\}$. Para el caso de la escritura $\{-1, 0, 1\}$, se ilustra el siguiente ejemplo, en el cual se representan cantidades negativas y positivas.

Tabla 4. Ejemplo de ternarios en escritura $\{-1, 0, 1\}$.

NÚMERO	{32, 31, 30}	NÚMERO	{32, 31, 30}
-6	-1, 1, 0	1	0, 0, 1
-5	-1, 1, -1	2	0, 1, -1
-4	0, -1, -1	3	0, 1, 0
-3	0, -1, 0	4	0, 1, 1
-2	0, -1, 1	5	1, -1, -1
-1	0, 0, -1	6	1, -1, 0
0	0, 0, 0	7	1, -1, 1

Fuente: elaboración propia.

Con las cantidades ilustradas en la tabla anterior, se demuestra que es muy sencillo representar cualquier número en esta nomenclatura y, con un poco de práctica, se puede dominar la técnica sin mayores esfuerzos. Este es uno de los métodos más utilizados para hacer la conversión con el sistema decimal, del cual a continuación se expone un ejemplo para que se comprenda su uso.

Conversión de ternario balanceado a decimal

$$\begin{aligned}
 1-1011-1-10 &= 1 \cdot 3^7 + (-1 \cdot 3^6) + 0 \cdot 3^5 + 1 \cdot 3^4 + 1 \cdot 3^3 + (-1 \cdot 3^2) + (-1 \cdot 3^1) + 0 \cdot 3^0 \\
 &= 2.187 + (-729) + 0 + 81 + 27 + (-9) + (-3) + 0 \\
 &= 1554
 \end{aligned}$$

Conversión de decimal a ternario balanceado

$$\begin{array}{r}
 287_{10} \quad | \quad 3_{10} \\
 -27 \quad \quad | \quad 96_{10} \quad | \quad 3_{10} \\
 \hline
 017 \quad -9 \quad 32_{10} \quad | \quad 3_{10} \\
 -18 \quad 06 \quad -3 \quad \quad | \quad 11_{10} \quad | \quad 3_{10} \\
 -1 \quad -6 \quad 02 \quad -12 \quad 4_{10} \quad | \quad 3_{10} \\
 \quad \quad 0 \quad -3 \quad -1 \quad -3 \quad 1_{10} \\
 \quad \quad \quad -1 \quad \quad \quad 1 \quad 1
 \end{array}
 \quad 287 = 11-1-10-1$$

Para obtener la respuesta final, se toma el último cociente como la cifra más significativa, seguida de cada residuo y ordenados de izquierda a derecha como lo indica la flecha.

Tabla 5. Nomenclatura de ternarios balanceados.

	NEGATIVO	CERO	POSITIVO
Valor	-1	0	+1
Dígito	-1	0	1
Terna	T	0	1
Signo	N	0	P

Fuente: elaboración propia.

Con esta nomenclatura, el ejercicio anterior se puede representar de diferentes formas:

$$287 = 11-1-10-1$$

$$287 = 110$$

$$287 = 11TTOT$$

$$287 = PPNNON$$

Para realizar las operaciones matemáticas en ternario balanceado es necesario conocer el comportamiento de los trits en cada caso particular.

Suma

Esta operación sigue las mismas reglas del sistema decimal, teniendo especial cuidado con los acarreos, como se ilustra en la tabla 6. La forma correcta para aplicarlos es tomar la columna de la izquierda e interceptarla con la fila superior, las cuales están resaltadas en azul. Este patrón se debe seguir para las demás tablas de acarreos de las otras operaciones básicas. Para aquellos acarreos que tienen dos dígitos, se coloca el menos significativo o de la derecha y se lleva el otro, que pasa a la siguiente columna de la izquierda cuando se estén efectuando las operaciones.

Tabla 6. Suma de ternarios balanceados.

+	T	0	1
T	T1	T	0
0	T	0	1
1	0	1	1T

Fuente: elaboración propia.

Sumar 10TOTT1 con 10TT00T

$$\begin{array}{r}
 1T \\
 10TOTT1 \\
 + 10TT00T \\
 \hline
 1TT1TTTO
 \end{array}$$

Resta

Esta operación, al igual que la suma, también sigue las mismas reglas del sistema decimal, las cuales fueron aplicadas en las operaciones anteriores. Lo importante aquí es la ubicación de los acarreo, los cuales exigen que se coloquen en la parte inferior del minuendo, de lo contrario el resultado se verá alterado y no correspondería al real.

Tabla 7. La resta de ternarios balanceados.

-	T	0	1
T	0	T	11
0	1	0	T
1	TT	1	0

Fuente: elaboración propia.

Restar 1TOT10 de 10TT010T

$$\begin{array}{r}
 10TT010T \\
 - 10TT00T \\
 \hline
 1TT01100
 \end{array}$$

Multiplicación

Consiste en multiplicar dos cantidades siguiendo unas reglas propias de los sistemas de numeración posicionales cuando se generen los acarreo, como se ilustra en la tabla 8, o los propios de la suma cuando se estén totalizando las cantidades. Es necesario que estos sean ubicados en la columna que les corresponde e involucrados de forma correcta para que no se altere el resultado.

Tabla 8. La multiplicación de ternarios balanceados.

*	T	0	1
T	1	0	T
0	0	0	0
1	T	0	1

Fuente: elaboración propia.

Multiplicar TT010T de 10TT

$$\begin{array}{r}
 TT010T \\
 *10TT \\
 \hline
 11T \\
 110T01 \\
 110T01 \\
 000000 \\
 TT010T \\
 \hline
 TOT001T11
 \end{array}$$

División

En esta nomenclatura se siguen las mismas reglas empleadas en el sistema decimal, para conocerse cuántas veces cabe el divisor en el dividendo; sí al final se presenta un sobrante, es conocido como el residuo, el cual se debe comparar con el divisor. En caso de que sea mayor, se debe asumir una cifra más en el cociente y repetir todo el proceso, hasta que el residuo sea cero o menor que el divisor. Si es cero se dice que la división es exacta. Veamos un ejemplo:

Dividir TOT001T11 entre 10TT

$$\begin{array}{r}
 \text{TOT001T11} \quad \left| \begin{array}{l} 10\text{TT} \\ \hline \text{TT010T R.} \end{array} \right. \\
 \text{1 Acarreos} \\
 \hline
 -\text{T011} \\
 \hline
 \text{OT1T0} \\
 \text{1} \\
 \hline
 -\text{T011} \\
 \hline
 \text{001T1T} \\
 \text{T Acarreos} \\
 \hline
 -10\text{TT} \\
 \hline
 \text{00T011} \\
 \hline
 -\text{T011} \\
 \hline
 \text{0000}
 \end{array}$$

De igual manera, se puede hacer uso de los acarrees de la tabla 9 para que la operación se efectúe de forma directa y con ello se facilita el proceso. Se deja a conveniencia del lector para que aplique el que más se le facilite, pero por ambos métodos la respuesta es similar.

Tabla 9. La división de ternarios balanceados.

/	T	0	1
T	1	-∞	T
0	0	NaN	0
1	T	+∞	1

Fuente: elaboración propia.

Existe otra forma de escribir los números balanceados y es haciendo uso de los signos, convirtiéndose en una manera muy práctica para su representación. A continuación, se ilustran algunos ejemplos, en los cuales las cantidades positivas se representan por el signo más +, el cero 0 y las negativas por el menos -.

Ejemplo, sean los números 40, 7, 25, 178, -5 y 6.

++++ Que equivale a $3^3 + 3^2 + 3^1 + 3^0 = 40$

+-+ Que equivale a $3^2 - 3^1 + 3^0 = 7$

+0-+ Que equivale a $3^3 + 0 - 3^1 + 3^0 = 25$

+-+--+ Que equivale a $3^5 - 3^4 + 3^3 - 3^2 - 3^1 + 3^0 = 178$

-++ Que equivale a $-3^2 + 3^1 + 3^0 = -5$

+ - 0 Que equivale a $3^2 - 3^1 + 0 = 6$

4. Lógica ternaria

Con este nombre se le conoce a cualquier sistema multivaluado, en el cual se tienen tres valores de verdad: verdadero, falso e intermedio o indeterminado, diferenciándose de la lógica bivalente o binaria ya que solo contempla los valores verdadero y falso. Este tipo de lógica fue formulada en la primera mitad del siglo anterior por Lukaiseewicz (Metcalf, Olivetti y Gabbay, 2004), Lewis y Sulki, para posteriormente ser complementadas por Grigore Moisil, quien reformuló los planteamientos a una estructura axiomática y los extendió a las denominadas lógicas n (Sierra, 2010).

Uno de factores que da origen a esta lógica es el principio de incertidumbre, formulado por W. Heisenberg. En este sentido, Maldonado (2017) sostiene que “este fenómeno sucede a través de la física cuántica, en la cual si se conoce el lugar de una partícula, no se sabe hacia dónde se dirige, y si se sabe hacia dónde se dirige, entonces no se sabe dónde está”.

El inconveniente que se tiene con la incertidumbre es el mal concepto dado por la sociedad porque lo relacionan con los obs-

táculos o las dificultades que se presentan en las diferentes actividades que se ejecutan diariamente, y a las cuales se les busca mecanismos para su eliminación, desconociendo que, a través de ellas, se podría dar explicación a muchos de los fenómenos que a diario acontecen y que se pueden analizar en los ámbitos de la ciencia —gracias a los estudios de la complejidad— y de la lógica —por medio de la lógica trivalente—, en los cuales este nuevo estado tiene el mismo peso de los otros dos, el cual abre nuevas ventanas para procesos más complejos o para analizar aquellos en los cuales el binario se queda corto para realizar los análisis.

Ventajas de la lógica ternaria

Por ser una lógica multivaluada, además del hecho de contemplar un estado de incertidumbre, su funcionamiento se asemeja mucho al pensamiento de los seres humanos y la forma como se da respuesta a muchas problemáticas; por tal motivo, se podrían analizar fenómenos reales que no son posibles con la lógica binaria. Actualmente el análisis de la información se da gracias a la lógica difusa (Cabrera, 2013; Sivanandam, Sumathi y Deepa, 2007; Pérez, 2007), que brinda la posibilidad de dar soluciones con razonamientos cualitativos o por defecto.

No depende de ecuaciones matemáticas complejas para analizar y transmitir mayor cantidad de información por su capacidad de procesamiento, ni se requiere conocer los modelos matemáticos que rigen su funcionamiento. También soluciona los problemas de interconexión en los circuitos integrados, debido a que se requieren menos componentes para efectuar las mismas tareas, lo que permitirá que se pueda continuar con la miniaturización de los componentes electrónicos a escalas nanométricas.

Incrementar la velocidad de procesamiento al tenerse una mayor densidad de la información por unidad de área, hace posible que los nuevos desarrollos electrónicos materializados en *hardware*, como tarjetas de desarrollo, requieran menos pines en los circuitos integrados y, por ende, se reducirá la cantidad de interconexiones internas, aumentando la capacidad de procesamiento de la Unidad Aritmético Lógica (ALU). Este cambio repercutiría en

el diseño de los lenguajes de programación de alto nivel, al poderse aumentar el número de funciones en las sentencias, así como realizarse algoritmos más complejos, permitiendo, de esta manera, hacer procesos más rápidos con menores líneas de código.

Desventajas de la lógica ternaria

A la no compatibilidad de la lógica binaria con la ternaria, lo cual matemáticamente es demostrable, se suman otros factores como las tolerancias de los materiales con que inicialmente se construirán los componentes, y la capacidad que tendría para el procesamiento de la información, lo que se podría traducir como cuellos de botella, especialmente si lo que se desea es llevar la información de ternario a binario, pero, si fuera el caso contrario, no se tendrían problemas porque se pasaría de una plataforma lenta a una rápida.

En cuanto a la migración de tecnologías, primero se tendría que hacer una inversión muy grande para acondicionar todos los medios para su producción masiva, requiriendo que la industria fabricante de IC reestructure los medios actuales para darle espacio a la nueva plataforma, o en su defecto les toque iniciar de ceros. Sumado a lo anterior, el no existir *hardware* que actualmente esté fundamentado en esta lógica, retrasará su masificación porque hasta que no se logren diseñar los primeros componentes y probar su versatilidad, sería muy arriesgado para las empresas desarrolladoras desistir de los modelos actuales sin tener la certeza de que los nuevos sean superiores en las características de procesamiento de los sistemas actuales.

Aplicaciones de la lógica trivalente en el ámbito informático

En el ámbito matemático se tienen tres temas principales:

- La primera es la teoría matemática de conjuntos difusos y el análisis matemático de razonamiento *difuso* o aproximado. En ambos casos se hace referencia a sistemas de lógica

multivaluada (MVL). Es de aclarar, que los sistemas difusos son aquellos que consideran respuestas intermedias. Por ejemplo, en la temperatura se tiene caliente, tibio, frío, en fin, y se podría describir la variable de muchas formas, dependiendo del nivel de calor.

- El segundo tema hace referencia a los enfoques que se les dan a las pruebas que aportan consistencia a una teoría determinada, mediante un sistema adecuado de MVL.
- Por último existe una referencia en pruebas de independencia, que a menudo se asocia con matrices lógicas con más de dos grados de verdad. Sin embargo, aquí la MVL es una herramienta netamente técnica que no aporta un significado práctico.

En el campo de la informática, se puede relacionar con el diseño de *hardware* y desarrollo de *software* especialmente en la inteligencia artificial. En este sentido, para el desarrollo de *hardware*, la lógica proposicional clásica es utilizada para el análisis de circuitos tales como interruptores con dos estados de verdad, on-off, para los casos digitales actuales, pero en caso de tener que hacer uso de la lógica multivaluada, se utilizarían interruptores con más de dos estados, hoy conocidos como *Fuzzy Logic* o lógica difusa, que permite hacer diferentes análisis a una misma señal en cualquier instante de tiempo, generando muchas aplicaciones más relacionadas con el comportamiento real de las variables.

En la inteligencia artificial, lo que se busca es hacer que los sistemas con esta herramienta puedan representar la simulación de tener sentido común, razonamiento o expresar sentimientos, tratando al máximo de copiar los estados del ser humano, todo ello modelado por herramientas matemáticas y ecuaciones de orden superior, como conjuntos difusos y lógica difusa. Otra aplicación está relacionada con la automatización de datos a través de la unión de vectores con una determinada característica, lo cual da origen al término *clustering*. También este análisis de datos determina el comportamiento de sistemas robóticos, muy utilizados en la industria manufacturera para hacer labores de mucha precisión como la fabricación de IC, el ensamble de equipo elec-

trónico, aplicación de soldaduras especiales en la fabricación de aeronaves, automóviles, control robótico y medicina, entre otras muchas aplicaciones.

5. El computador que renegó el código binario

En este estudio el investigador muestra un equipo que lleva por nombre Setún, en honor al río que pasa frente a la Universidad Estatal de Moscú, lugar donde el científico Nikolái Brusentsov en 1956 construyó el primer computador que funcionaba con lógica ternaria, del cual se hicieron 50 prototipos que eran toda una hazaña para la época. Los usos iniciales que se le dieron fueron para cálculos agrícolas, plantas de energía nuclear y la enseñanza de la programación, principalmente. En el informe en el cual se hace referencia a este equipo, Vásquez (2013) afirma que “de los 387.420.489 valores con los que Brusentsov había imaginado que su hipotética máquina podía operar, podían representarse con solamente 18 trits, en vez de los 28 bits necesarios si se usara la codificación binaria”.

En la década de los setenta con la aparición del sistema binario, se optó por esta plataforma, y los prototipos fueron recogidos y destruidos, perdiéndose toda la investigación hecha por el científico, quien había utilizado como sistema de numeración la notación 1, 0, -1. Posteriormente el equipo de trabajo de Brusentsov recogió lo que había quedado de la investigación, lo trasladaron a un laboratorio donde se le dio vida a una nueva plataforma informática educativa llamada Master Work Station, de la que actualmente no se tiene información. Del Setún se pudo demostrar que fue muy eficiente por 17 años aproximadamente, y su creador hasta el lecho de muerte siempre sostuvo que el sistema trinario era muy superior al binario.

Las investigaciones desarrolladas por los rusos no fueron socializadas al público, lo cual generó un gran interés sobre el tema en las agencias de investigación de los Estados Unidos, más aún cuando se supo que la tecnología utilizada para la construcción del satélite Sputnik estaba fundamentada en este sistema nu-

mérico. Al conocerse sus alcances, ellos quisieron tener acceso a la información y fue así como Krupinaki (1962), capitán de la Fuerza Aérea Americana, presentó una tesis de grado para obtener el título de ingeniero electrónico, la cual llevaba por título *Logic design for tristable devices*. Este documento había sido clasificado por la CIA y se encontró en un motor de búsqueda especializado gracias a la liberación reciente que hicieron de esta documentación. Al tenerse conocimiento de la monografía, se pudo constatar que el autor hizo una buena aproximación a la forma como se realizan las operaciones matemáticas básicas, pero que, por la tecnología del momento, se le dificultó hacer una presentación óptima, como se logra con las herramientas tecnológicas actuales.

6. Los colores en ternario

La gama de colores visibles en una pantalla está conformada por los tres primarios RGB (Red, Green, Blue), siendo cada uno representado por un byte en el sistema binario, el cual asigna un valor a cada pixel, que oscila entre 0x00 para el negro y 0x255 para el blanco.

La mezcla de los tres bytes (0xFF, 0xFF, 0xFF) hace posible obtenerse 2^{24} , es decir, 16.777.216 combinaciones posibles. Aunque la cifra indica una gama muy amplia de colores (ver figura 1), es relativamente pequeña para procesos como el tratamiento de imágenes en un sistema experto o de inteligencia artificial; para que un médico pueda hacer la interpretación del avance de una enfermedad como el cáncer, por citar un ejemplo, debido a que se hace necesario analizar muchas imágenes y por cada una se debe hacer una escala de grises lo suficientemente robusta para obtener un resultado óptimo.

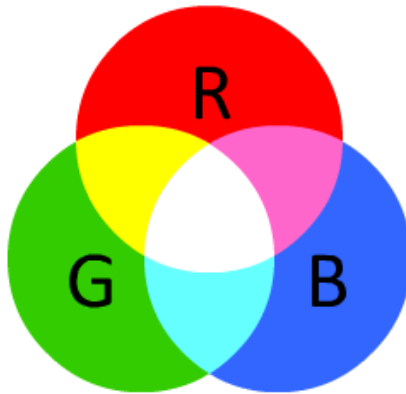


Figura 1. Representación de los colores RGB.

Para hacer el mismo análisis en el sistema ternario, se requieren tres trytes, uno para cada canal, permitiendo realizar un número de combinaciones muy superior, si se tiene en cuenta que un tryte es equivalente a 3^6 , y la mezcla de los tres es igual a 3^{18} , es decir 387.420.489 cuando es multiplicado por uno, pero en el sistema se pueden duplicar las cifras, obteniéndose 774.840.978 combinaciones. Esta diferencia indica que con el sistema binario solo se procesa el 2,16 % de lo que se podría hacer con el ternario.

En la tabla 10 se observa la representación de los principales colores en los diferentes sistemas numéricos computacionales para obtener esas tonalidades. Un procesador lo que hace es mezclar los bytes o trytes con valores que oscilan entre 0 y el máximo permitido por cada sistema numérico.

Tabla 10. Sistema de colores RGB.

COLOR	DECIMAL	BINARIO	HEXA	TERNARIO	HEPTO
Negro	00 00 00	00000000 00000000 00000000	0x00 0x00 0x00	000000 000000 000000	0Y00 0Y00 0Y00
Marrón	150 75 00	10010110 01001011 00000000	0x96 0x4B 0x00	012120 002210 000000	0Y5F 0Y2L 0Y00
Rojo	255 00 00	11111111 00000000 00000000	0xFF 0x00 0x00	100110 000000 000000	0Y93 0Y00 0Y00
Naranja	255 165 00	11111111 10100101 00000000	0xFF 0xA5 0x00	100110 020020 000000	0Y93 0Y63 0Y00
Amarillo	255 255 00	11111111 11111111 00000000	0xFF 0xFF 0x00	100110 100110 000000	0Y93 0Y93 0Y00
Verde	00 128 00	00000000 10000000 00000000	0x00 0x80 0x00	000000 011202 000000	0Y00 0Y4K 0Y00
Azul rey	00 00 255	00000000 00000000 11111111	0x00 0x00 0xFF	000000 000000 100202	0Y00 0Y00 0Y93
Violeta	128 00 128	10000000 00000000 10000000	0x80 0x00 0x80	011202 000000 011202	0Y4K 0Y00 0Y4K
Gris	128 128 128	10000000 10000000 10000000	0x80 0x80 0x80	011202 011202 011202	0Y4K 0Y4K 0Y4K
Blanco	255 255 255	11111111 11111111 11111111	0xFF 0xFF 0xFF	100110 100110 100110	0Y93 0Y93 0Y93
Fucsia	255 00 255	11111111 00000000 11111111	0xFF 0x00 0xFF	100110 000000 100110	0Y93 0Y00 0Y93
Limón	00 255 00	00000000 11111111 00000000	0x00 0xFF 0x00	000000 100110 000000	0Y00 0Y93 0Y00
Agua-marina	00 255 255	00000000 11111111 11111111	0x00 0xFF 0xFF	000000 100110 100110	0Y00 0Y93 0Y93
Plateado	192 192 192	11000000 11000000 11000000	0xC0 0xC0 0xC0	021010 021010 021010	0Y73 0Y73 0Y73
Azul	00 00 128	00000000 00000000 10000000	0x00 0x00 0x80	000000 000000 011202	0Y00 0Y00 0Y4K
Oliva	128 128 00	10000000 10000000 00000000	0x80 0x80 0x00	011202 011202 000000	0Y4K 0Y4K 0Y4K

Fuente: elaboración propia.

Así como el sistema ternario se muestra muy superior en el procesamiento de los colores, también se hace excelente para aplicaciones como las comunicaciones, el control electrónico y la instrumentación, entre otros campos del saber; además que, por su tercer estado, hace posible que se puedan analizar condiciones de incertidumbre, lográndose respuestas en las cuales el sistema binario se queda corto. Por ejemplo, las aplicaciones a nivel de imágenes satelitales, geográficas, oceanográficas, etc., abren un sinfín de posibilidades para la ciencia y la ingeniería, que implican cambios sustanciales, no solo en la tecnología como tal de manejar más canales de información del color, sino de su interpretación mediante algoritmos y sistemas de procesamiento especialmente diseñados para este nuevo sistema.

7. Conclusiones

Los números ternarios, por su misma estructura y características, se proyectan como un sistema de numeración computacional que revolucionará la manera de hacer los procesos electrónicos porque además de contemplar un tercer estado que se puede asociar a la incertidumbre, posee una mayor capacidad para el procesamiento y almacenamiento de la información; además, solucionarán los problemas de miniaturización de los circuitos integrados, por ser una lógica trivalente.

Los sistemas ternarios fueron propuestos por los rusos a mediados de los años cincuenta, quienes lograron desarrollar varios prototipos de computadores, a los cuales les dieron aplicaciones en la agricultura; aunque aparentemente en la década de los setenta con el surgimiento del sistema binario los sacaron de uso, se considera que fue una distracción para quitarse la presión de los norteamericanos, quienes mostraron gran interés por la investigación, y esto se pudo evidenciar porque un oficial de la Fuerza Aérea americana había presentado una tesis para optar por el título de ingeniero electrónico en 1962.

Se considera que migrar las plataformas binarias a esta nueva tendrá un costo elevado para la industria manufacturera, por no

contarse con la infraestructura ni la instrumentación necesaria para su masificación. Una vez subsanado este inconveniente, los costos de fabricación e implementación bajarán considerablemente, beneficiando a toda la comunidad en general.

El desarrollo de equipo electrónico para usos como el control, las comunicaciones, la robótica, la medicina y la Inteligencia artificial, entre otros, por citar algunos ejemplos, por su capacidad exponencial en el procesamiento de la información, agilizará los procesos y optimizará los recursos tecnológicos.

8. Referencias bibliográficas

- Advanced Micro Devices (2018). *AMD Ryzen™ Master Overclocking User's Guide for AMD Ryzen™ and Ryzen™ Threadripper™*. Processors. Publication N.º 55931, Revision: 1.20. Recuperado de <https://download.amd.com/documents/AMD-Ryzen-Processor-and-AMD-Ryzen-Master-Overclocking-Users-Guide.pdf>
- Almache Cabrera, J. (2013). Lógica clásica y lógica difusa: facetas que las caracterizan. *Estoa, Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 2(2), 91-101. <https://doi.org/10.18537/est.v002.n002.10>
- Bryant, G. (30 de mayo de 2017). *Nuevos procesadores Intel Core X-Series: escala, accesibilidad y rendimiento Go Extreme*. Newsroom Intel. Recuperado de <https://newsroom.intel.com/editorials/new-intel-core-x-series-processors-scale-accessibility-and-performance-go-extreme/>
- Burzynski, D., y Ellis, W. (2013). *Fundamentals of Mathematics*. Houston, Texas: Rice University.
- Krupinaki, J. (1962). *Logic design for tristable devices*. (Tesis de maestría, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, Estados Unidos, School of Engineering). Recuperado de <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/295097.pdf>
- Maldonado, C. E. (11 de abril de 2017). *La lógica trivalente*. Desde abajo: la otra posición para leer. Recuperado de <https://www.desdeabajo.info/ciencia-y-tecnologia/item/31263-la-logica-trivalente.html>

- Metcalfe, G., Olivetti N. y Gabbay, D. (2004). Lukasiewicz logic: from proof systems to logic programming. *L. J. of the IGPL*, 0(0), 1-25. Recuperado de https://publik.tuwien.ac.at/files/pub-tm_5481.pdf
- Pérez I. y León B. (2007). *Lógica difusa para principiantes. Teoría y práctica*. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello.
- Sierra, M. (Julio-diciembre de 2010). Lógicas epistémica y doxástica con restricciones. *Ingeniería y Ciencia*, 6(12), 81-115. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v6n12/v6n12a05.pdf>
- Sivanandam, S. N., Sumathi, S. y Deepa S. N. (2007). *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB*. Berlín: Springer.
- Varona, J. L. (2014). *Recorridos por la teoría de números*. La Rioja, España: Colección Textos Universitarios que coeditan Elettolibris y la Real Sociedad Matemática Española.
- Vásquez, J. L. (14 de febrero de 2013). *El ordenador que renegó el código binario*. Recuperado de https://es.rbth.com/blogs/2013/02/14/el_ordenador_que_renego_del_codigo_binario_24805

Consideración de diseño de un componente *software* para integración de funcionalidades proporcionadas por portales de difusión de video con plataformas de gestión de contenidos de aprendizaje

Consideration of the design of a software component for the integration of functionalities provided by video broadcasting portals with learning content management platforms

Consideração do projeto de um componente de software para a integração de funcionalidades fornecidas por portais de transmissão de vídeo com plataformas de gerenciamento de conteúdo de aprendizagem

Julio Barón Velandia,
jbaron@udistrital.edu.co

Nicolás Hernando González Marroquín,
nhgonzalezm@correo.udistrital.edu.co

Oswaldo Alberto Romero Villalobos,
oromerov@udistrital.edu.co

Resumen

En este artículo se presentan las consideraciones de diseño de un componente integrable con plataformas de gestión de contenidos de aprendizaje, que facilita la búsqueda y referenciación de recursos de video, de manera que el usuario pueda realizar estas actividades desde el gestor de contenidos de aprendizaje, sin requerir instalación y entrenamiento en herramientas adicionales. Para su obtención se aplicó el desarrollo de *software* por componentes, con lo cual se obtuvo una integración multiplataforma que permite desde el entorno del usuario acceder a recursos disponibles en servidores de difusión de video, que almacenan únicamente las referencias de origen de los recursos multimedia y las descripciones que realizan los docentes sobre cada recurso referenciado. Esto hace que el ancho de banda y la cantidad de espacio de almacenamiento requerido sean muy pequeños en comparación con el espacio solicitado por los servidores de difusión de video, con lo cual es posible soportar una amplia cantidad de estudiantes en forma concurrente.

Palabras clave: *aprendizaje electrónico, difusión de video, gestor de contenidos de aprendizaje, integración de componentes.*

Abstract

This article presents the design considerations of a component integrable with learning content management platforms, which facilitates the search and referencing of video resources so that the user can perform these activities from the learning content manager without require installation and training on additional tools. To obtain it, the development of software by components was applied; with which a multiplatform integration was obtained that allows, from the user's environment, to access resources available on video broadcast servers, which store only the source references of the multimedia resources and the descriptions that the teachers perform on each referenced resource. This makes the bandwidth and the amount of storage space required are very small compared to the space requested by the video broadcast servers, so it is possible to support a large number of students concurrently.

Keywords: *Electronic learning, Integration of components, Learning content manager, Video broadcast.*

Resumo

Neste artigo apresentamos as considerações de projeto de um componente integrável com plataformas de gerenciamento de conteúdo de aprendizagem, o que facilita a busca e referência de recursos de vídeo para que o usuário possa realizar essas atividades a partir do gerenciador de conteúdo de aprendizagem, sem requer instalação e treinamento em ferramentas adicionais. Para obtê-lo, o desenvolvimento de software por componentes foi aplicado; com o qual foi obtida uma integração multiplataforma que permite, a partir do ambiente do usuário, acessar recursos disponíveis em servidores de transmissão de vídeo, onde são armazenadas apenas as referências de

origem dos recursos multimídia e as descrições feitas pelos professores sobre cada recurso referenciado. Isso torna a largura de banda e a quantidade de espaço de armazenamento necessária para ser muito pequena em comparação com o espaço solicitado pelos servidores de transmissão de vídeo, o que permite suportar um grande número de alunos ao mesmo tempo.

Palavras-chave: *Aprendizagem eletrônica, Integração de componentes, gerenciador de conteúdo de aprendizagem, Transmissão de vídeo.*

1. Introducción

En la mayoría de plataformas de gestión de contenido de aprendizaje con elementos de funcionalidad de video, la búsqueda de recursos debe ser realizada por herramientas externas al entorno de aprendizaje, haciendo que el usuario tenga que exportar los resultados de la búsqueda como hipervínculos en formato de texto; esta forma de compartir videos es ineficiente ya que carece de funcionalidades para realizar descripciones que permitan asociar videos desde servicios de difusión como YouTube o DailyMotion de acuerdo con una determinada temática, enfoque pedagógico, nivel de complejidad o perfil de usuario a quien está dirigido.

El objetivo principal de este trabajo consiste en establecer las consideraciones de diseño que permitan proporcionar a las plataformas de gestión de contenidos de aprendizaje la integración de funcionalidades de video disponibles en servicios de difusión de video, aplicando desarrollo por componentes para que usuarios pertenecientes a una comunidad educativa tengan acceso a este tipo de recursos desde el entorno de aprendizaje.

Actualmente la manera en la que se realizan las actividades de compartir recursos de video disponibles en servicios de difusión de video en diferentes plataformas de gestión de contenidos de aprendizaje, se centran en el manejo de cadenas de texto para establecer referencias web de la ubicación de los recursos; Moodle que es la plataforma de *software* libre de mayor implementación, hace uso de una herramienta que permite agregar elementos multimedia mediante la inserción de referencias que pueden

ser locales o de acceso web a través de URL (Video de Moodle, 2018); en Chamilo, que es considerada como una de las plataformas de mayor usabilidad, la inserción de recursos se realiza mediante la edición de etiquetas HTML etiquetando la URL de un recurso web en el código fuente, en el cual va a ser visualizado (Zambrano, 2013).

En términos comerciales, la plataforma Blackboard además de carecer de funcionalidades de multiplataforma, “únicamente proporciona funcionalidades que se limitan a la búsqueda y referenciación de videos desde el propio entorno, careciendo de las opciones de creación de perfil de contenido y descripción de video” (Serna, 2013).

En las herramientas de gestión de contenidos de aprendizaje, las funcionalidades de recursos de video se limitan a referenciar la ubicación que proporcionan los servicios de video como YouTube o DailyMotion, haciendo que un docente deba emplear un alto porcentaje de su tiempo en la visualización de recursos cada vez que requiere utilizar videos como apoyo a la actividad de clase.

En los siguientes apartados del artículo, se presentan los aspectos de mayor relevancia para tener presentes en el diseño de un componente integrable en plataformas de gestión de contenidos de aprendizaje, con el fin de facilitar la búsqueda y referenciación de recursos de video de manera que el usuario pueda realizar estas actividades desde el gestor de contenidos de aprendizaje, sin requerir uso y aprendizaje de herramientas adicionales. Para el entendimiento de la funcionalidad del diseño, se presentan a continuación los conceptos principales:

2. Plataforma de gestión de contenidos de aprendizaje

Se refieren a todo espacio virtual creado para que una comunidad académica pueda tener acceso a diferentes herramientas de aprendizaje con las que pueden interactuar y aprender sobre una temática en específico. Entre las definiciones más aceptadas está: “El E-Learning proporciona la oportunidad de crear ambientes

de aprendizaje centrados en el estudiante. Estos escenarios se caracterizan además por ser interactivos, eficientes, fácilmente accesibles y distribuidos”. Entre los aspectos que deben ser tenidos en cuenta se resaltan: “diseño institucional, pedagógico, tecnológico, de la interfaz, evaluación, gerencia, soporte y ética de uso” (Boneu, 2007).

Las plataformas de gestión de contenidos de aprendizaje de mayor utilización en la actualidad son:

- **Moodle:** plataforma *e-learning* de código abierto con el mayor prestigio y el mayor uso mundial; su número de usuarios supera los 79 millones, más de 99.000 sitios registrados y presencia en más de 230 países (Página oficial de Moodle, 2018).
- **Canvas LMS:** sus funcionalidades están disponibles por completo en la nube, por lo tanto, no requiere de un servidor; la versión Network está enfocada al sector empresarial (Página oficial de CanvasLMS, 2018).
- **Chamilo LMS:** presenta un alto grado de usabilidad mayor, ampliamente aplicada en el campo empresarial; se encuentra presente en más del 80 % de los países y comparte muchas similitudes con la plataforma de Moodle (Página oficial de Chamilo, 2018).
- **Sakai:** surge del proyecto de código Sakai creado entre varias universidades norteamericanas como parte de una alternativa en el campo de las plataformas *e-learning*; en la actualidad está presente en más de 100 universidades, algunas de ellas españolas como la Universidad Complutense de Madrid o la Politécnica de Valencia (Página oficial de Sakai, 2018).
- **LMS de Wordpress plugin, LearnPress:** nace como un complemento con la idea de aplicarse sobre páginas web desarrolladas en Wordpress para transformar la página web en una plataforma *e-learning*.
- **Blackboard LMS:** de las más reconocidas mundialmente, implementa el tipo de pago por licencia, se encuentra en

múltiples universidades y proporciona soporte para diversos niveles como la educación primaria. Además, tiene varios enfoques según su uso como Blackboard Learn, Blackboard Collaborate, Blackboard Connect, Blackboard Mobile y Blackboard Analytics (Página oficial de Blackboard, 2018).

- **eDucativa:** implementa modalidad de pago con solicitud de presupuesto y es utilizada por escuelas, entidades universitarias y por empresas; se considera de entorno amigable y accesible para la mayoría de usuarios (Página oficial de eDucativa, 2018).
- **FirstClass:** maneja el *pago por uso*, no requiere instalación en ningún servidor ya que opera en su totalidad en la nube y es capaz de adaptarse a múltiples dispositivos (Página oficial de FirstClass, 2018).
- **Saba:** especializada en el seguimiento de estudiantes, su uso comercial requiere de un tipo de pago en el cual hay que solicitar presupuesto. Permite hacer seguimiento individual (Página oficial de Saba, 2018).
- **NEO LMS:** es una plataforma de pago por uso, que no requiere de instalación en un servidor (Página oficial de NEO LMS, 2018).

En el cuadro 1 se realiza la comparación entre las plataformas de gestión de contenidos de aprendizaje más sobresalientes, en las cuales se destacan principalmente sus características de instalación, capacidad de adaptación (flexibilidad) y capacidad de incorporación de *software* de terceros (estandarización).

Cuadro 1. Comparación de funcionalidades entre plataformas de gestión de contenido de aprendizaje.

Plataformas Características	Sakai	Moodle	Blackboard	Chamilo LMS	Canvas LMS	Saba
¿Es plataforma libre?	sí	sí	no	sí	sí	no
¿Enfocada al sector empresarial?	no	no	no	no	no	sí
¿Enfocada al sector académico?	sí	sí	sí	sí	sí	no
¿Proporciona facilidades de configuración y personalización de plataforma?	sí	sí	sí	sí	sí	sí
¿Permite incorporar tecnología de terceros?	sí	sí	no	sí	sí	no
¿Cuenta con código fuente estable?	no	sí	sí	sí	sí	sí
¿Desplegable en arquitectura servidor?	sí	sí	sí	sí	no	sí
¿Desplegable en arquitectura de nube?	no	no	no	no	sí	no

Fuente: elaboración propia.

Las plataformas más destacadas fueron las de Moodle y Chamilo. Por tratarse de plataformas de código abierto en lenguaje PHP, el enfoque académico con que cuentan, al ser versiones estables, proporciona las condiciones adecuadas para la integración de nuevas funcionalidades como la difusión de video en web.

Plataformas de difusión de video: herramientas con las que se pueden difundir recursos de video en la web para que puedan ser compartidos y comentados por una comunidad (Digital, 2016).

En la actualidad las plataformas de difusión de video que más sobresalen son (Mundo, 2017):

- **Vimeo:** red social para subir, almacenar y compartir videos. Cuenta con 300 millones de usuarios y múltiples formas de monetizar videos para todos aquellos creadores de contenido.
- **DailyMotion:** definida como un *agregador de contenido* que permite almacenar videos de hasta una hora de duración, fue la primera competencia de YouTube. Aunque tiene un enfoque más centrado en la creación de cortometrajes semiprofesionales.
- **Maker Studios:** es un grupo de canales estadounidenses fundado en 2009 y que pertenece a Disney desde 2015 con una gran variedad de videos. Tiene audiencias principalmente en Brasil, Reino Unido y Australia, con más de 700 millones de vistas únicas.
- **Flickr:** ofrece la posibilidad de publicar videos a los que denomina como *Long Photos*, que no pueden superar los 90 segundos al mes.
- **Viddler:** permite compartir contenido audiovisual. Ofrece servicio gratuito para usuarios y otro de pago para empresas.
- **Twitch:** brinda la posibilidad de monetizar los videos que se proporcionan mediante suscripción, donación y a través de patrocinadores.
- **YouTube:** es la plataforma de gestión de videos más popular en el mundo, con la mayor cantidad y variedad en contenido ya que abarca temas que van desde el entretenimiento hasta educativos, de gran calidad (Digital, 2016).

En el cuadro 2 se hace la comparación de las plataformas de difusión de video en web más utilizadas en el mundo, lo que permite definir a YouTube como la de mayor uso educativo mundial, ya que las otras plataformas aunque comparten aspectos similares en lo que a funcionalidad se refiere, el factor clave para determi-

narla como plataforma más apropiada para aplicar en el campo de la educación es el enfoque de su contenido, puesto que este trabaja las otras plataformas de manera distante a lo que se desearía aplicar en una plataforma de gestión de contenidos de aprendizaje.

Cuadro 2. Comparación de las características entre plataformas de difusión de video en web.

Plataformas Características	Vimeo	DailyMotion	Maker Studios	Flickr	Viddler	Twitch	YouTube
¿Dispone de una API?	sí	sí	no	sí	sí	sí	sí
¿Tiene tecnología empleada?	sí	sí	no	sí	sí	sí	sí
¿Sus videos se especializan en contenido con enfoques educativos?	no	no	no	no	no	no	sí
¿Permite hacer streaming? (transmisiones en directo)	no	no	no	no	no	sí	sí
¿Permite compartir videos?	sí	sí	sí	no	sí	sí	sí

Fuente: elaboración propia.

3. Metodología

Para la definición del diseño es adecuado establecer un prototipo que puede ser ajustado, ampliado y mejorado de manera iterativa incremental, aplicando desarrollo por componentes, dado que en esta propuesta metodológica el objetivo es la reutilización de funcionalidades de *software* mediante la encapsulación de los detalles de desarrollo, permitiendo la interacción en diferentes contextos y facilitando la generación de subsistemas que deben

proporcionar un gran número de servicios, con bajo nivel de falla y tiempos cortos de entrega (Sommerville, 2011).

Se considera el desarrollo de *software* por componentes como la metodología de desarrollo más apropiada ya que se busca diseñar un componente que pueda integrarse en diversas plataformas de gestión de contenidos de aprendizaje, mediante la modalidad de *plug-in*, garantizando que la integración de un nuevo componente no implique la alteración de la configuración básica de la plataforma en la que se desea instalar.

4. Resultados

La generación del componente a nivel de prototipo permite establecer las condiciones de mayor relevancia al diseñar funcionalidades de incorporación de video, sin alterar los servicios disponibles de una plataforma de gestión de contenidos de aprendizaje. A continuación, se presentan las consideraciones principales que se deben tener en cuenta para la definición del diseño como componente.

Flexibilidad: para la integración del componente es necesario que las plataformas de gestión de contenidos de aprendizaje permitan la incorporación de tecnología de terceros mediante la modalidad de *plug-ins*, para evitar la alteración del código fuente o las configuraciones básicas de las plataformas que deseen incorporar nuevas herramientas en sus entornos de trabajo.

Modularidad: las funciones de búsqueda y referenciación de material de video deben ser independientes a las funcionalidades de instalación y configuración de la herramienta dentro del entorno de aprendizaje, es decir, que todos los archivos encargados de la instalación y configuración de la herramienta dentro de los entornos de trabajo tienen sus funciones completamente independientes a las funciones desarrolladas para la búsqueda y referenciación de videos, lo que permite utilizar las mismas funciones dentro de otros entornos de aprendizaje, en los cuales varían únicamente los archivos de instalación y configuración según las condiciones de cada plataforma.

Cuando el componente y la plataforma se desarrollan en lenguajes de programación diferentes, es necesario incorporar un puente que permita la transformación de datos desde el entorno de aprendizaje hacia el componente y viceversa. Para la activación es necesario ubicar el puente en el árbol de directorios del servidor de aplicaciones en el cual ha sido desplegado el componente y configurar los utilitarios que permiten la comunicación entre el lenguaje de programación del componente y el lenguaje en el cual está desarrollado el gestor de contenidos de aprendizaje.

Trafico a nivel de red: ya que el objetivo principal del desarrollo consiste en la búsqueda y referenciación de videos mediante el uso de servicios proporcionados a través de una API, se debe contar con una conexión de red para el envío de la solicitud de búsqueda en la cual se debe indicar mediante una cadena de texto, la temática sobre la cual se quiere recuperar referencias, así como el máximo número de resultados que debe ser enviado por el servidor que atiende la solicitud. Para una consulta en la que se especifica un límite superior de 25 resultados, el consumo de red en promedio es de 8.000 bytes, mientras que cuando el límite superior es de 100 resultados en promedio, el consumo de red es de 15.000 bytes; dada la mínima cantidad de datos que requieren ser transferidos, este servicio puede ser utilizado incluso en redes que cuentan con un bajo ancho de banda.

Persistencia de referencias de video: las referencias almacenadas desde cualquier plataforma de gestión de contenidos de aprendizaje se pueden visualizar en todos los entornos que se encuentran dentro del mismo dominio de gestión y cuenten con los permisos de acceso a una base de datos compartida, en la cual se almacenan todas las referencias obtenidas, permitiendo su completa visualización desde cualquier entorno de aprendizaje.

Este archivo recibe la información que desea almacenar de un video, realiza un llamado a la base de datos creada para almacenar todas las referencias solicitadas por los usuarios, almacenando para cada recurso de video la siguiente información: un identificador único en web, título, dirección URL de la imagen en miniatura, descripción, identificador del módulo en el cual se generó el envío de información, tipo de usuario recomendado para recibir

el contenido, calificación correspondiente y plataforma de gestión de contenidos de aprendizaje desde la cual se almacenó la información. En la figura 1 se presentan la descripción técnica de los campos más importantes.

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios	Extra	Acción
1	id	int(11)			No	Ninguna		AUTO_INCREMENT	Cambiar Eliminar Primaria Único Más
2	url	varchar(100)	utf8_spanish_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Primaria Único Más
3	título	varchar(100)	utf8_spanish_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Primaria Único Más
4	imagen	varchar(100)	utf8_spanish_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Primaria Único Más
5	descripcion	text	utf8_spanish_ci		SI	NULL			Cambiar Eliminar Primaria Único Más
6	modulo	varchar(100)	utf8_spanish_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Primaria Único Más
7	tipotl	varchar(100)	utf8_spanish_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Primaria Único Más
8	calificacion	varchar(100)	utf8_spanish_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Primaria Único Más
9	plataforma	varchar(100)	utf8_spanish_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Primaria Único Más

Figura 1. Estructura de la tabla de información para almacenamiento de referencias de video.

Definición de componentes: en la figura 2 se puede apreciar la distribución de los diferentes componentes dentro del entorno de una plataforma de gestión de contenidos de aprendizaje. Como primer componente está el “NavegadorWeb”, el cual envía una solicitud de conexión al componente denominado “PlataformaE-Learning” para ingresar a las plataformas de Moodle o Chamilo que se encuentran instaladas en el servidor web Apache, para ello, el navegador web debe conectar con el componente “ServidorWebApache”, lo que permitirá acceder al componente “PlataformaE-Learning”.

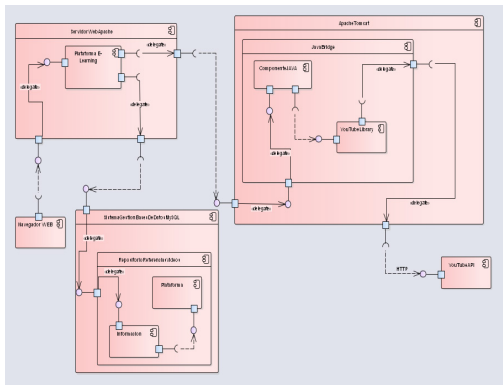


Figura 2. Diagrama representativo del componente integrado en plataformas de gestión de contenidos de aprendizaje.

“PlataformaE-Learning” puede conectarse con otros dos componentes, el primero de ellos es “SistemaGestionBasesDeDatosMySQL”, el cual contiene los componentes relacionados con la base de datos en la que se pueden almacenar referencias de video encontradas. Dentro de este se ubica “RepositorioReferenciasVideos” para acceder a la base de datos específica de almacenamiento de información de las referencias de video obtenidas mediante la conexión con los componentes “Información” y “Plataforma” que representan las tablas dentro de la base de datos que almacenan la información obtenida.

El segundo componente es el encargado de las funcionalidades de búsqueda de videos, ya que las solicitudes enviadas desde “PlataformaE-Learning” deben efectuar el siguiente recorrido: en primer lugar enviar una solicitud de conexión al componente “ApacheTomcat”, lo cual permitirá ingresar al componente “JavaBridge” el cual contiene todas las funcionalidades del componente Java con las funciones de búsqueda; una vez establecida la conexión con el componente “JavaBridge” se puede enviar la solicitud al componente denominado “ComponenteJava”, el cual con las parámetros de búsqueda obtenidos desde el componente “PlataformaE-Learning” puede enviar una solicitud de acceso a los servicios de YouTube por medio del componente “YouTubeLibrary”, el cual permite realizar una conexión mediante solicitudes HTTP con el componente “YouTubeAPI” que representa el API que permite acceder a los servicios de Google y los resultados de YouTube.

5. Discusión

El componente con funcionalidades de referenciación de video para ser incorporado en plataformas de gestión de contenidos de aprendizaje al emplear desarrollo por componentes tiene la capacidad de integrarse en diversas plataformas, sin afectar las funcionalidades que estas han venido proporcionando. La configuración del componente facilita a los usuarios.

Las funcionalidades básicas del componente que se desea integrar en las plataformas de gestión de contenidos de aprendizaje son: debe permitir la integración entre una plataforma de gestión de contenidos de aprendizaje con el componente con funcionalidades de difusión de videos utilizando protocolos de Internet, se debe permitir realizar un perfil del contenido que se requiera almacenar con la finalidad de proporcionar información más específica sobre el contenido que se hallará en los videos, este perfil incluye calificación, el tipo de usuario al que está destinado y una breve descripción del video que se esté referenciando y la funcionalidad que la aplicación permite, búsquedas de videos por palabras claves y almacenamiento de la información de videos seleccionados por los usuarios.

El componente se desarrolla en lenguaje Java, basando sus funcionalidades de búsqueda de videos en los resultados obtenidos por la API de YouTube mediante la interacción con la herramienta Java Bridge, para conectar dichos resultados obtenidos con la plataforma de gestión de contenidos de aprendizaje.

6. Conclusiones

Para la obtención de las funcionalidades de búsqueda, referenciación, descripción de contenido y almacenamiento de referencias, se diseñó un componente integrable a diversas plataformas de gestión de contenidos de aprendizaje, aplicando desarrollo de *software* por componentes, que permite desde el entorno de usuario acceder a recursos disponibles en servidores de difusión de video, haciendo que no se requieran grandes capacidades de almacenamiento ya que en la plataforma únicamente se almacenan las referencias de los recursos y las descripciones que un docente considera adecuados para un curso. Estas características definidas en el diseño permiten la incorporación de funcionalidades de video sin necesidad de incrementar significativamente el almacenamiento y uso de red cuando se registran referencias web, ya que el usuario ingresará siempre al proveedor del recurso, con lo cual también se evitan problemas de derechos de autor.

Para integrar el componente desarrollado con funcionalidades de difusión de video, dentro de una plataforma de gestión de contenidos de aprendizaje se requiere de una serie de configuraciones y creación de archivos determinados por las características de cada plataforma ya que, como se aprecia en la tabla 1, esto es posible por la incorporación de tecnología de terceros, característica principal de las plataformas de código abierto, que posibilita incrementar las funcionalidades de cada una, de manera que puedan incorporarse servicios de video desde el mismo entorno.

7. Referencias bibliográficas

- BBC Mundo News. (10 de abril de 2017). *6 plataformas alternativas a YouTube con las que puedes hacer dinero monetizando videos*. Recuperado de <http://www.bbc.com/mundo/noticias-39554119>
- Boneu, J. M. (2007). Plataformas abiertas de e-learning para el soporte de contenidos educativos abiertos. *RUSC, Revista de la Universidad y Sociedad del Conocimiento*, 4,(1).
- Camarena, P. (Mayo-junio de 2006). Un enfoque de las ciencias en contexto desde la didáctica. *Innovación Educativa*, 6(31), 21-31. Distrito Federal, México: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/1794/179421073003.pdf>
- Grabiner, J. (1983). Grabiner, J. V. (Septiembre de 1983). The changing concept of change: the derivative from Fermat to Weierstrass. *Mathematics Magazine*, 56(4), 195-206. doi: 10.2307/2689807
- Grattan, I. (1984). *Del Cálculo a la teoría de conjuntos, 1630-1910*. Madrid: Alianza.
- IIEMD Marketing Digital (27 de septiembre de 2016). *Qué es Youtube, definición y noticias*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=wjoAtSoSzxM>
- Kline, M. (1999). *El pensamiento matemático de la Antigüedad a nuestros días*. Madrid: Alianza.

- Mesa, Y., y Villa Ochoa, J. (2011). *Modelación matemática en la historia de las matemáticas. Una mirada al concepto de función*. XIII Conferência Interamericana de Educação Matemática.
- Moodle. (2018). *Video de Moodle*. Recuperado de <https://docs.moodle.org/all/es/Video>
- Página oficial de Blackboard. (2018). Recuperado de <http://es.blackboard.com/>
- Página oficial de CanvasLMS. (2018). Recuperado de <https://www.canvaslms.com/>
- Página oficial de Chamilo. (2018). Recuperado de <https://chamilo.org/es/>
- Página oficial de eDucativa. (2018). Recuperado de <http://www.educativa.com/campus/>
- Página oficial de FirstClass. (2018). Recuperado de <https://www.opentext.com/what-we-do/products/specialty-technologies/firstclass>
- Página oficial de Moodle. (2018). Recuperado de <https://moodle.org/>
- Página oficial de NEO LMS. (2018). Recuperado de <https://www.neolms.com/>
- Página oficial de Saba. (2018). Recuperado de <https://www.saba.com/us/>
- Página oficial de Sakai. (2018). Recuperado de <https://www.sakai-project.org/>
- Serna, G. (2013). *LMS SENA Blackboard. Cómo insertar un video*. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=_1oWearUKco
- Sommerville, I. (2011). *Ingeniería de software*. Novena edición. México: Pearson Educación. Recuperado de http://artemisa.unicauca.edu.co/~cardila/Libro_Somerville_9.pdf
- Vidal, O. E. (2012). *Interpretación de la noción de derivada como razón de cambio instantánea en contextos matemáticos*. (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá). Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/8725/1/oscarduardo-vidalrojas.2012.pdf>

Zambrano, L. E. (13 de julio de 2013). *Cómo poner videos en Chamilo*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=-0TEU8ZvLUnA>

Diseño e implementación de un sistema para el análisis de huella plantar mediante Matlab

Design and implementation of a system for footprint analysis using Matlab

Concepção e implementação de um sistema de análise de pegadas utilizando o Matlab

Pedro Luis Cifuentes

Director del Semillero de Investigación SAMUDEC,
pcifuentes@ucundinamarca.edu.co

Neil Camilo Cubillos

Estudiante de Ingeniería Electrónica,
nccubillos@ucundinamarca.edu.co

Cristian Andrés Hernández

Estudiante de Ingeniería Electrónica,
cristianahernandez@ucundinamarca.edu.co

Benjamín Andrés Huérfano

Docente investigador del Grupo de Investigación GITEINCO,
bhuerfano@ucundinamarca.edu.co

Édgar Eduardo Roa Guerrero

Docente investigador y líder del Grupo de Investigación GITEINCO,
eduardoroa@ucundinamarca.edu.co

Resumen

El uso de podoscopios para el análisis de la huella plantar humana ha sido de gran importancia y utilidad en el diagnóstico de alteraciones biomecánicas; el presente artículo expone la identificación de requisitos, diseño e implementación de un sistema

(podoscopio) enfocado a la medición y análisis de la huella plantar mediante el método de Hernández Corvo utilizando procesamiento digital de imágenes. La metodología implementada de tipo cascada fue desarrollada tomando como primera instancia la identificación de los requisitos del sistema, de la cual se obtuvo como estructura base una plataforma de 45 x 40 x 35 cm. En una segunda etapa se procedió a determinar el tipo de iluminación para usar en el sistema, seleccionando el uso de tecnología led para la retroiluminación del dispositivo, permitiendo la reflexión de las presiones de la huella plantar, en la cual dichas áreas lumínicas son captadas mediante una cámara de lente de no distorsión para la toma de datos.

Como tercera fase, se desarrollaron los diferentes algoritmos de procesamiento de imágenes basados en la plataforma de desarrollo Matlab y su complemento de interfaces gráficas GUIDE. Con las etapas anteriormente mencionadas, se permitió llegar a la implementación de un sistema basado en técnicas de procesamiento de imágenes para el procesamiento de la huella y se obtuvo el índice de Hernández Corvo correspondiente a cada huella y su clasificación, siguiendo a cabalidad los requisitos del método expuesto. Finalmente se procedió con la corrección y calibración de los algoritmos para demostrar el correcto funcionamiento del dispositivo y la adecuación a las diferentes condiciones de medida.

Palabras clave: *alteraciones biomecánicas, huella plantar, método de Hernández Corvo, podoscopio, procesamiento de imágenes.*

Abstract

The use of podoscopes for the analysis of the human footprint, has been of great importance and utility in the diagnosis of biomechanical alterations; the present article exposes the identification of requirements, design and implementation of a system (podoscope) focused on the measurement and analysis of the footprint by means of Hernández Corvo's method using digital image processing. The implemented methodology of waterfall type was developed taking as first instance the identification of the requirements of the system obtaining as a base structure a platform of 45 x 40 x 35 cm. In the second stage, we proceeded to determine the type of lighting to be used in the system, selecting the use of LED technology for backlighting the device, allowing the reflection of the pressures of the footprint, where said light areas are captured by a camera. Non-distortion lens for data collection. As a third phase, the different image processing algorithms based on the MatLab development platform and its GUIDE graphic interfaces complement were developed. With the previously mentioned stages it was possible to arrive at the implementation of a system based on image processing techniques for fingerprint processing and obtaining the Hernández Corvo index corresponding to each fingerprint and its classification, fully following the requirements of the exposed method. Finally, we proceeded with the correction and calibration of the algorithms to demonstrate the correct functioning of the device and the adaptation to the different measurement conditions.

Keywords: *Biomechanical alterations, Footprint, Hernández Corvo method, Image processing, Podoscope.*

Resumo

O uso de podoscópios para a análise da pegada humana tem sido de grande importância e utilidade no diagnóstico de alterações biomecânicas. Este artigo apresenta os requisitos de identificação, concepção e implementação de um sistema (podoscópio) centrado na medição e análise da pegada pelo método Hernández Corvo usando processamento de imagem digital. O tipo cascata metodologia implementada foi desenvolvido tendo em primeira instância, identificar os requisitos do sistema obtenção de estrutura de base da plataforma 45 x 40 x 35 cm. Na segunda fase, procedeu-se para determinar o tipo de iluminação utilizada no sistema, seleccionar a utilização da tecnologia LED para dispositivo de iluminação de fundo, permitindo que a reflexão das pressões da pegada, em que os referidos domínios de iluminação são capturadas por uma câmara lente sem distorção para coleta de dados. Como uma terceira fase, os diferentes algoritmos de processamento de imagem baseados na plataforma de desenvolvimento Matlab e seu complemento de interfaces gráficas GUIDE foram desenvolvidos. Com os passos acima mencionados é deixada atingir a implementação de um sistema baseado em técnicas de processamento de imagens para processar a traço e obtenção do índice de Hernández Corvo para cada sistema de rastreamento e de classificação, seguinte plenamente os requisitos do método discutido. Por fim, procedeu-se à correção e calibração dos algoritmos para demonstrar o correto funcionamento do dispositivo e a adaptação às diferentes condições de medição.

Palavras-chave: *Alterações biomecânicas, Método de Hernández Corvo, Pegada, Podoscope, Processamento de imagens.*

1. Introducción

El análisis y diagnóstico de la huella plantar es un proceso de gran importancia en la prevención y corrección de problemas en la postura en personas. Actualmente existen diferentes métodos de obtención y clasificación del pie, desde los empíricos y básicos como la inspección visual, hasta métodos de mayor exactitud como el de Hernández (2011). Cada uno de estos procedimientos busca la clasificación de la huella plantar en tres grupos principales, pie cavo, normal y plano, con estos resultados se procede al diagnóstico y posterior tratamiento según la clasificación obtenida, como terapias, cambio de rutinas y uso de plantillas especiales, entre otros. El análisis de la huella plantar está orientado a cualquier persona para identificar posibles alteraciones en la postura, sin embargo, en la literatura se evidencia que dichos estudios se enfocan a comunidades específicas que padecen con mayor frecuencia problemas posturales o de mayor importancia como es el caso de niños (Pinto, 2011), personas con diabetes y deportistas (Sánchez, 2017); en estos últimos es de gran necesidad realizar un seguimiento gradual del avance y la tendencia de la huella, por el aumento de alteraciones en el pie que presentan estos debido a su actividad diaria.

En la actualidad, el índice de Hernández Corvo ha demostrado ser uno de los métodos con mayor precisión, por lo cual es de los más utilizados (Berdejo, 2011), influyendo en el desarrollo de diferentes procedimientos y dispositivos para tal fin. Estos en el contexto de pequeñas comunidades o entidades suelen ser rústicos, manuales y lentos para la entrega de resultados y diagnósticos; aunque la base fundamental de este tipo de métodos se basa en la impresión de la huella plantar sobre una superficie, donde posteriormente se realizan los trazos correspondientes para identificar las áreas en el pie y así determinar su índice y clasificación. También existen métodos tecnológicamente más desarrollados que siguen el mismo fundamento mediante el uso de plataformas llamadas podoscopios, que resaltan la huella plantar sobre una superficie de vidrio, para ser analizadas por el médico

o captada con una cámara o escáner y ser procesada mediante software (Navaporn y Cherdpong, 2014).

2. Diseño metodológico

La metodología llevada a cabo se basó en una sucesión de etapas en cascada, como se muestra en la figura 1, iniciando con la identificación y el análisis de los requisitos del sistema para implementar la fase estructural del podoscopio. Como etapas finales se procedió a la corrección y el ajuste de los algoritmos desarrollados en las etapas intermedias; para la ejecución de esta fase se llevó a cabo mediante la realización de diferentes pruebas experimentales a un grupo de individuos.

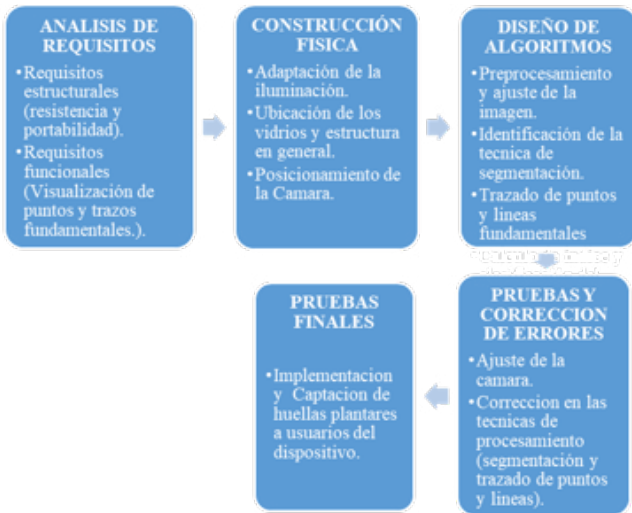


Figura 1. Metodología del proyecto de investigación.

Para el diseño y la construcción estructural del dispositivo se tomaron en cuenta materiales ligeros y resistentes, se implementó el uso de aluminio en conjunto con una superficie de 45 x 40 cm compuesta por dos vidrios. Los materiales implementados en el proyecto se relacionan a continuación:

- Vidrio transparente y vidrio color humo.
- Ángulos de aluminio.
- Cartón prensado.
- Tira led de color azul.
- Cámara con lente de no distorsión.
- Adaptador de 12VDC.
- Computadora con el software de Matlab.

3. Resultados de la construcción.

Construcción estructural.

El primer aspecto por considerar es la elección de la cámara indicada, ya que esta define parámetros importantes tales como la altura del dispositivo, la resolución de las imágenes y el tipo de conexión; por ende, se realiza el estudio de cinco cámaras perfeccionadas y aplicables al proyecto, como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación de cámaras.

Cámara	Resolución	Longitud focal	Comunicación	Relación focal
Camara para Raspberri Pi V2	8 Mp	3.04 mm	SPI	2.0
Módulo de visión webcam Sony IMX179	8 Mp	3.6 mm	USB	Varifocal
Aptina MI5100 no distorsion	5 Mp	2.1 mm	USB	Manual
2MP módulo de cámara con luz de flash	5 Mp	2.8 mm	USB	Auto
Videocámara SQ12	2 Mp	2.3 mm	USB	Auto

Fuente: elaboración propia.

De las cámaras preseleccionadas en la anterior tabla comparativa se opta por la Aptina MI5100 con lente de no distorsión, dando relevancia a que esta cuenta con una longitud focal pequeña y una resolución de 5 Mp suficientes para el proyecto.

Se realizó la construcción estructural del podoscopio teniendo en cuenta los requerimientos del usuario analizados en la primera fase del proyecto. Los requerimientos considerados para la construcción de este fueron: poca altura, peso moderado, resistencia a alto peso (180 kg), enfoque total de las huellas y portabilidad. Con los materiales descritos en el diseño metodológico y los requisitos analizados, se realizó la construcción de una plataforma podométrica, como se observa en la figura 2.



Figura 2. Podoscopio implementado.

Fuente: elaboración propia.

Para la superficie de medición se implementó el uso de dos vidrios de 3 mm de grosor y 40 x 45 cm de largo y ancho, situados uno sobre el otro, como se muestra en la figura 3. Para la cara superior se utilizó un vidrio transparente para permitir el contraste de la huella sobre este, gracias a la iluminación empleada. La cara inferior cuenta con un vidrio de color humo, el cual permite un pequeño filtrado de los objetos externos a la huella.

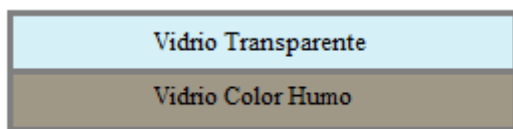


Figura 3. Esquema posición de los vidrios.

Para la retroiluminación del dispositivo se implementó el uso de tecnología led mediante una tira de estos por el contorno de los dos vidrios anteriormente mencionados. Se estableció el uso de papel pergamino en el medio de los leds y los vidrios para ayudar a difuminar dicha iluminación.

En la parte interna del podoscopio se situó la cámara anteriormente escogida, se adaptó de tal forma que esta logrará un enfoque apropiado y se cubra toda la superficie del vidrio, como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Posición de la cámara.

Respecto a las características de alimentación energética, el dispositivo necesita de dos fuentes de alimentación: una de 12 voltios DC que garantiza la iluminación de la tira led, y una segunda fuente de 5 voltios DC que en este caso es aprovechada del puerto USB del computador para energizar la cámara.

4. Algoritmos de procesamiento

Posterior a la construcción del podoscopio se realizó el algoritmo de procesamiento de las imágenes mediante la plataforma de programación Matlab, haciendo uso de su complemento para el desarrollo de interfaces gráficas GUIDE. Como se muestra en la figura 5, la aplicación está diseñada para ser intuitiva y de fácil uso por parte de la persona encargada del proceso.

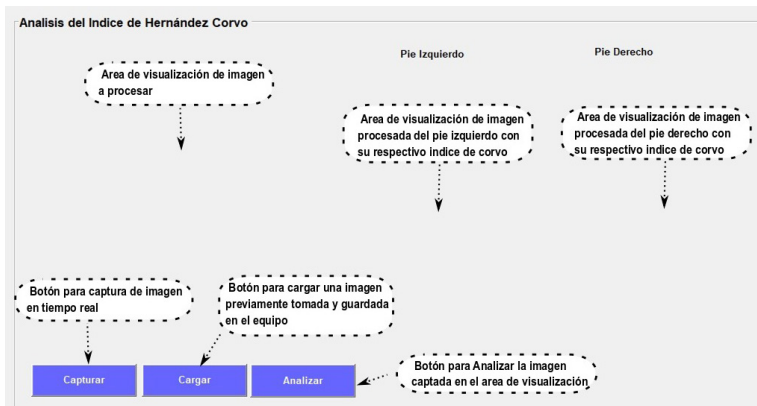


Figura 5. Diseño de la interfaz gráfica.

La interfaz gráfica implementada cuenta con los botones: capturar, el cual accede a la cámara ya conectada y configurada, con el objetivo de tomar la imagen de la superficie de vidrio con las huellas plantares; el botón cargar permite la funcionalidad de buscar y cargar una imagen tomada con anterioridad para su análisis. Finalmente, con el botón analizar se da inicio al algoritmo que calcula el índice de corvo de la imagen anteriormente seleccionada o capturada; los resultados son mostrados en los apartados de pie derecho y pie izquierdo correspondientemente; en cada pie analizado se visualizan las respectivas medidas, puntos y trazos fundamentales para el análisis de la huella plantar mediante Hernández Corvo, como se observa en la figura 6.

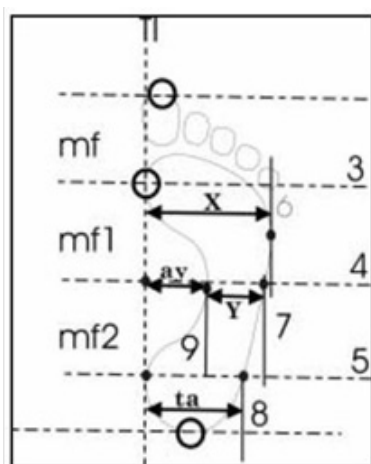


Figura 6. Líneas guía para obtención del índice de Corvo.

Fuente: Lara, 2011.

El índice de corvo está basado en una serie de puntos, trazos y medidas para obtener las distancias X y Y, mostradas en la figura 6; posteriormente con las distancias obtenidas se procede a la aplicación de la ecuación (1), (Díaz y Ramírez, 2006) que determina el porcentaje de corvo.

Según los porcentajes obtenidos se procede a clasificar el tipo de huella plantar siguiendo la tabla 2. Es preciso destacar que el procedimiento es aplicado en los dos pies y no necesariamente se debe obtener el mismo porcentaje de corvo en juntos.

El desarrollo y las primeras pruebas de los algoritmos se realizan mediante la opción de cargar, con el objetivo de analizar imágenes previamente capturadas durante la construcción del podoscopio; estas pruebas permitieron el ajuste de los algoritmos para una posterior ejecución de estos en tiempo real, reduciendo tiempos durante el desarrollo del algoritmo aprovechando pruebas hechas anteriormente.

Tabla 2. Clasificación del pie según Hernández Corvo.

Porcentaje	Clasificación
0-34 %	Plano
35-39 %	Plano/Normal
40-54 %	Normal
55-59 %	Normal/Cavo
60-74 %	Cavo
75-84 %	Cavo/Fuerte
85-100 %	Cavo/Extremo

Fuente: Lara, 2011.

Se resalta que tanto el método implementado como la plataforma creada se eligieron después de documentar y leer avances y tecnologías en el área. Como se muestra en la figura 7, se obtienen los resultados del índice de corvo tanto para el pie izquierdo como para el derecho y se visualiza la imagen original de las huellas plantares.

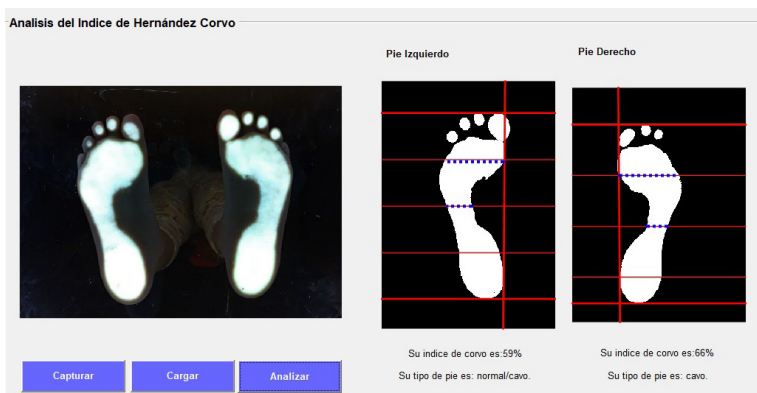


Figura 7. Prueba del algoritmo con una imagen anteriormente capturada.

Fuente: elaboración propia.

Con la certeza de que el algoritmo responde positivamente y que la plataforma resiste pesos altos, se inicia la obtención de datos en tiempo real. Como se muestra en la figura 8, el sujeto se debe situar naturalmente sobre la plataforma, adicionalmente el recinto de medición en lo posible debe estar oscuro, para que la luz externa no altere las mediciones.



Figura 8. Posición del usuario sobre el podoscopio.

Fuente: elaboración propia.

Se realizan pruebas con estudiantes de la Universidad de Cundinamarca, sede Fusagasugá, escogidos aleatoriamente; en las figuras 9 y 10 se observan los resultados obtenidos para los dos primeros usuarios escogidos para las pruebas.

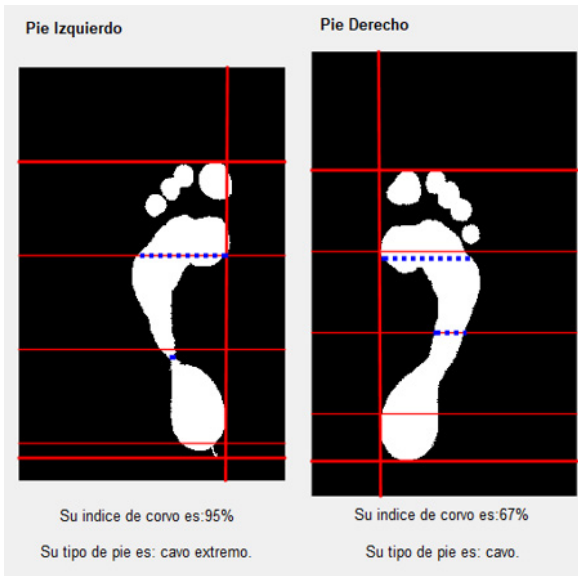


Figura 9. Resultados del sujeto de prueba 1.

Fuente: elaboración propia.

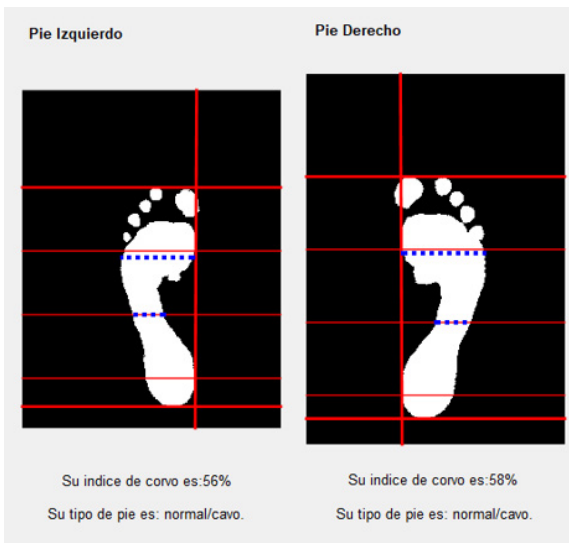


Figura 10. Resultado del sujeto 2.

Fuente: elaboración propia.

Así mismo, se realizaron muestras en siete estudiantes adicionales, con los cuales el algoritmo respondió correctamente. Los resultados obtenidos de dichas pruebas se evidencian en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados índices de Corvo para cada sujeto.

Individuos	Pie derecho	Pie izquierdo
Individuo 1	Cavo extremo	Cavo
Individuo 2	Normal/cavo	Normal/cavo
Individuo 3	Normal	Normal/plano
Individuo 4	Cavo extremo	Cavo extremo
Individuo 5	Cavo extremo	Cavo extremo
Individuo 6	Cavo	Cavo
Individuo 7	Cavo	Cavo
Individuo 8	Normal	Normal
Individuo 9	Cavo	Cavo

Fuente: elaboración propia.

5. Resultados y conclusiones

En la actualidad el uso de podoscopios se ha convertido en un método popular para el diagnóstico de problemas biomecánicos en miembros inferiores; los dispositivos encontrados en el mer-

cado para tal fin cuentan con precios altos, por lo que son de difícil adquisición, por esta razón médicos y especialistas en salud toman la decisión de realizar la toma de estos exámenes de forma manual mediante el uso de tintas o pinturas impregnadas en la planta del pie. Con el anterior estudio investigativo se evidenció que es posible la construcción de un podoscopio de bajo costo y el desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes.

El foco y la apertura de la mayoría de las cámaras probadas tienden a acercar los objetos, por lo que la altura del podoscopio tendrá que aumentar razonablemente, convirtiendo a este en un dispositivo pesado, inseguro y de difícil portabilidad. Este problema encontrado puede ser resuelto mediante la implementación de dos cámaras para la captura de la imagen o el uso de cámaras con un foco de apertura mínimo.

La luz externa es un factor de gran incidencia al tomar las diferentes imágenes de la huella plantar, por lo que es necesario contar con espacios totalmente oscuros o aislar el dispositivo de la luz externa.

Se debe realizar una limpieza constante del vidrio o la superficie del podoscopio debido a que las diferentes impurezas y suciedades son contrastadas y capturadas por la cámara provocando posibles errores en la segmentación y el procesamiento de la imagen. De igual manera es de vital importancia realizar una limpieza previa de los pies del sujeto por examinar evitando así posibles alteraciones durante la toma del examen.

El uso de este tipo de podoscopios permite un análisis de la huella plantar de manera inmediata reduciendo drásticamente los tiempos respecto a técnicas normalmente utilizadas (manuales). Es preciso destacar que la implementación de estos algoritmos se realizó con el desarrollo de Matlab, debido a fines académicos, pero estos pueden ser exportados a lenguajes de programación libres como Android y Python.

6. Referencias bibliográficas

- Berdejo, D., Lara, A. J., Martínez-López, E. J., Cachón, J., y Lara, S. (2011). Alteraciones de la huella plantar en función de la actividad física realizada. / Footprint modifications according to the physical activity practised. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 13(49), 19-39. Recuperado de [Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista49/artalteraciones340.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista49/artalteraciones340.htm)
- Díaz, C. A., Torres, A., Ramírez, J. I., García, L. F., y Álvarez, N. (Diciembre de 2006). Descripción de un sistema para la medición de las presiones plantares por medio del procesamiento de imágenes. Fase 1. *Revista EIA*, (6), 43-55. Medellín: Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- Hernández, R. (2011). *Morfología funcional deportiva: sistema locomotor*. Badalona: Paidotribo.
- Lara, S., Lara, A. J., Zagalaz, M. L., y Martínez-López, E. J. (enero-junio de 2011). Análisis de los diferentes métodos de evaluación de la huella plantar. *RETOS, Nuevas tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, (19), 49-53. Murcia: Federación Española de Docentes de Educación Física.
- Navaporn, L., Kittipol, C., Suradej, T., y Cherdpong, H. (2014). *Smart digital podoscope for foot deformity assessment*. The 7th 2014 Biomedical Engineering International Conference, Fukuoka, 1-5. doi: 10.1109/BMEiCON.2014.7017410
- Pinto, J. A., Saito, É., Lira O. A., Rowinski, S., Blumetti, F. C. & Dobashi, E. T. (2011). Footprint study in children during the Jack test. *Acta Ortopédica Brasileira*, 19(3), 125-128. <https://dx.doi.org/10.1590/S1413-78522011000300001>
- Sánchez, C. (Marzo de 2017). Análisis de dos métodos de evaluación de la huella plantar: índice de Hernández Corvo vs. Arch Index de Cavanagh y Rodgers. *Fisioterapia*, 39(5), 209-215. DOI: 10.1016/j.ft.2017.01.002

***M-Health*: nuevo campo de acción para los ingenieros de sistemas**

M-Health: new action field to Software Engineers

M-Health: novo campo de ação para engenheiros de sistemas

Misael Fernando Perilla Benítez

Docente de tiempo completo del programa de Ingeniería de Sistemas,
Universidad de Cundinamarca extensión Chía,
mperilla@ucundinamarca.edu.co,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0235-0499>

Resumen

Este documento trata sobre qué es la salud móvil o *M-Health*, en la que se pretende mostrar el potencial que existe en esta nueva rama del desarrollo tecnológico para los ingenieros de sistemas y su impacto en la región, en este caso el uso de las crecientes tecnologías móviles para el uso y aprovechamiento de estas, tendientes a mejorar la calidad de los servicios de salud pública. Muchos de los servicios actuales de salud se realizan utilizando diferentes Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), sin embargo, el desarrollo de aplicaciones móviles que ayuden y faciliten los procesos de atención primaria, seguimiento a pacientes o caracterización de estos, son una enorme posibilidad que aún no se he empezado a planear por las empresas y los gobiernos a gran escala, por lo cual se debe iniciar un proceso de creación y culturización sobre el uso de esta nueva tendencia en la medicina preventiva.

Palabras clave: *aplicaciones móviles, M-Health, Ingeniería de sistemas, salud pública, TIC.*

Abstract

This document deals with what is Mobile Health or M-Health, in which it is intended to show the potential that exists in this new branch of technological development for system engineers and its impact in the region, in this case the use of growing mobile technologies for the use and exploitation of them, tending to improve the quality of public health services. Many of the current health services are performed using different Information and Communication Technologies (ICT), however the development of mobile applications that help and facilitate the processes of primary care, patient follow-up or characterization thereof, are a huge possibility that has not yet begun to be planned by companies and governments on a large scale, which is why a process of creation and acclimation should be initiated on the use of this new trend in preventive medicine.

Keywords: *M-Health, ICT, Mobile applications, Public health, Systems engineering.*

Resumo

Este documento trata do que é a saúde móvel ou M-Health, no qual se pretende mostrar o potencial que existe neste novo ramo de desenvolvimento tecnológico para engenheiros de sistemas e seu impacto na região, neste caso o uso de tecnologias móveis para o uso e exploração das mesmas, tendendo a melhorar a qualidade dos serviços públicos de saúde. Muitos dos serviços de saúde atuais são realizados utilizando diferentes Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), no entanto, o desenvolvimento de aplicativos móveis que auxiliam e facilitam os processos de atenção primária, acompanhamento do paciente ou caracterização dos mesmos, são uma enorme possibilidade que ainda não começou a ser planejada por empresas e governos em larga escala, motivo pelo qual deve ser iniciado um processo de criação e aculturação sobre o uso dessa nova tendência na medicina preventiva.

Palavras-chave: *Aplicações móveis, M-Health, Engenharia de sistemas, Saúde pública, TIC.*

1. Introducción

Con el emergente y creciente mercado de los dispositivos móviles y su adopción en casi todos los campos del saber y el hacer humano, se genera una creciente demanda de aplicaciones para múltiples necesidades generales y específicas. En este sentido, el mundo digital se ha volcado hacia el desarrollo de este nuevo campo de las TIC y con ello se ha motivado al desarrollo de nuevas ideas, conceptos y proyectos, con los cuales se ha demostrado el gran impacto que pueden tener la tecnología en pro del cuidado de la salud humana.

La *M-Health* es una nueva tendencia en el campo de las TIC, que busca utilizar los dispositivos móviles como una herramienta que permita proteger, diagnosticar, tratar y dar seguimiento a millones de personas que tienen complicaciones de salud y que, por uno o varios motivos, no pueden permanecer o asistir continuamente a un centro médico, y ser vistos regularmente por un especialista de la manera en que su situación médica lo requiera.

2. Qué es *M-Health*

M-Health (del inglés Mobile Health), también llamada salud móvil, es el nombre que se le ha designado a la definición de prácticas para la salud que se pueden desarrollar o aplicar mediante dispositivos móviles, procesos y procedimientos tales como seguimiento de pacientes, recopilación de datos clínicos, monitoreo de signos vitales o gestión de historiales médicos, por citar algunos (Parker y Vos, 2012), teniendo como premisa que *dispositivos móviles*, no se refiere únicamente a los actuales equipos celulares (*smartphones*) o dispositivos equivalentes (tabletas), sino a cualquier tipo de dispositivo electrónico con características inalámbricas que puede ser portado por una persona (p. ej.: dispositivos de monitoreo vital, asistentes digitales personales (PDA), Raspberry Pi, Arduino, entre otros). Gracias a esto es posible crear una nueva necesidad en la sociedad, la cual es implementar y proveer a las personas de herramientas que aseguren un cui-

dado continuo y accesible de manera casi inmediata a servicios de salud.

A lo anterior se adiciona el proceso que conlleva la creación de herramientas electrónicas e informáticas (*hardware* y *software*) orientadas a ser implementadas mediante dispositivos móviles, que buscan del mejoramiento en los procesos de prevención, diagnóstico, tratamiento y seguimiento a pacientes que por problemas como la poca o nula posibilidad de movilizarse (p. ej: lejanía entre su lugar de vivienda y el centro de atención médica más cercano), discrepancias socioculturales y otros, encuentran en estos sistemas una ayuda fundamental. A este tipo de herramientas se les llama Sistemas de Cuidado de la Salud (Healthcare Systems).

Estos sistemas de cuidado cuentan con la gran ventaja de poder ser utilizados de manera masiva, tanto por profesionales de la salud como por personas del común, que requieren obtener apoyo médico en diferentes entornos, cubriendo de esta manera mayores extensiones de territorio, accediendo a lugares que por costos, tiempo de desplazamiento, inexistencia de carreteras o vehículos no adecuados, un equipo médico (personal especializado en ciencias médicas) junto con su indumentaria, tardaría en llegar a su destino y terminaría atendiendo a los pacientes tardíamente (Bakshi et al., 2011).

Partiendo de esta idea, los objetivos que se busca conseguir se resumen en la figura 1:



Figura 1. Objetivos primarios de la M-Health.

Esta nueva tendencia nace de la necesidad de que los gobiernos y las entidades prestadoras de salud (tanto las de carácter oficial como privado) requieren ampliar su rango de cobertura y atención para sus pacientes, los cuales son un número de personas que día a día se ve aumentado debido al rápido crecimiento de la población tanto a nivel regional y nacional como mundial, especialmente en países subdesarrollados o en vías de desarrollo.

Además, se puede aprovechar la enorme penetración que han tenido en los últimos años las redes de comunicaciones celulares y los *celulares inteligentes* dentro de las comunidades en general, los cuales ya no solo tienen prestaciones de comunicación persona a persona (llamadas de voz o mensajes de texto), sino que cuentan con funciones de envío y recepción de datos e información, sensores variados integrados a su *hardware* y la posibilidad de conectar otros más por medio de conexión inalámbrica, todo lo anterior, junto con la caída de los precios para su adquisición y la gran variedad en gamas y precios, hace que el uso de estas tecnologías haya dejado de ser algo de uso exclusivo para las clases sociales más favorecidas, impactando el modo de vida de clases

sociales más modestas, lo cual es una oportunidad que puede ser aprovechada para ofrecer servicios de apoyo, como el *M-Health*.

Esta nueva línea de desarrollo aún se encuentra muy corta en definición de protocolos propios, además de esquemas que puedan ser tomados o manejados como estándares (p. ej.: casos de uso específicos o metodologías de desarrollo propias), ya que la difusión de este tema ha sido muy limitado y existe un problema al presentar varias incompatibilidades con la *E-Health* (también conocida como *eSalud - Electronic Health*), la cual se basa en el uso de dispositivos que no pueden compartir ni comunicar datos fuera de sí mismos (que es consecuencia de la privacidad de los datos de pacientes), entrando en conflicto con las actuales aplicaciones presentes en los dispositivos móviles, que manejan datos compartidos, ya sea utilizando un servidor de servicios o datos, o en otros casos compartiendo directamente información entre dispositivos (sistemas de host y p2p, respectivamente), los cuales no tienen mayor reserva y seguridad en los datos almacenados.

Temporalmente se estudia la posibilidad de que la *M-Health* adopte los mismos estándares que ya se encuentran presentes en *E-Health*, pero de momento se está manejando como un *parche*, una mejora o añadidura a *E-Health*, que tiene como objetivo específico el expandir la cobertura de la medicina a nivel mundial, especialmente en los lugares más apartados o de difícil acceso; un ejemplo claro es el continente africano.

3. Campos de acción de *M-Health*

Los campos de acción en esta nueva área del cuidado de la salud son numerosos. De acuerdo con (Chowdhury, Krishanan, Vishwanath y Vos, 2012), los diferentes campos de la medicina móvil pueden ser encapsulados en dos grandes categorías subdivididas de la siguiente manera:

1. Soluciones durante el tratamiento de pacientes (monitoreo continuo).
2. Fortalecimiento de los sistemas de salud.

Como se puede identificar en la figura 2, el primer punto se basa en los temas expuestos inicialmente, en los cuales se puede evidenciar que este esquema trata exclusivamente para las tareas y prácticas llevadas a cabo expresamente con un paciente, en los grandes procesos en los que un paciente tiene interacción directa con el sistema *M-Health* y el experto médico que lo esté tratando.

En contraparte, el segundo elemento se decanta más hacia los procesos internos y externo de las entidades prestadoras de salud (en los cuales los pacientes no tienen una participación activa ni permanente), buscando manejar de una manera más dinámica y asequible la información del negocio en general dentro de las instalaciones de atención médica y los procesos administrativos.

La salud móvil puede ser un componente integral de la salud pública en el futuro, pero solo si los gobiernos, las entidades prestadoras de salud y los operadores de telefonía celular crean programas que permitan impulsar y divulgar esta clase de iniciativas. En la actualidad, el Ministerio de las Tecnologías de la Información y Comunicación (MinTIC), del Gobierno nacional colombiano, ha emprendido campañas para generar emprendimiento en esta rama, como con el programa de Apps.co; sin embargo, su poca difusión general hace que esto sea conocido por muy pocas personas en un nicho más académico, a pesar del enorme potencial presentado para los ingenieros y desarrolladores de *software* colombianos u otros profesionales residentes en el país.

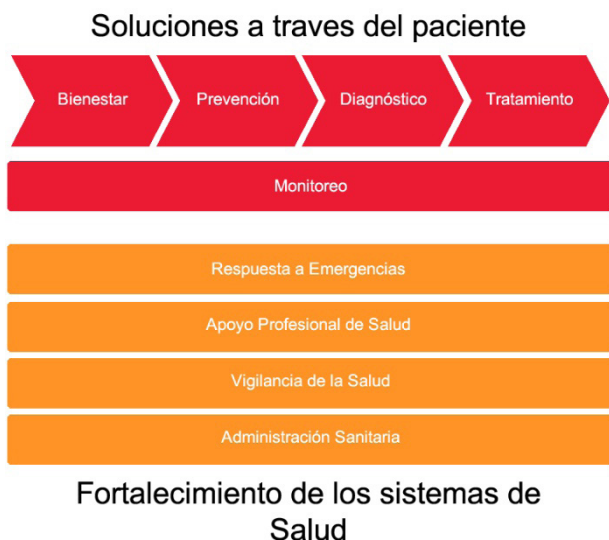


Figura 2. Marco de trabajo propuesto para la M-Health.

Actualmente en las universidades del país y de la región, se puede notar el crecimiento y la demanda por las *apps*, nombre común para referirse a las aplicaciones de dispositivos móviles, mediante su oferta de cursos, diplomados, asignaturas e incluso programas posgraduales con contenidos para desarrollo de aplicaciones móviles, con lo cual muchas de estas buscan generar un mercado formal, en el cual las empresas puedan disponer de profesionales formados en este tipo de tecnologías, cuyos productos buscan atraer más clientes y nuevos retos, teniendo un contacto más directo con ellos a través del uso de sus móviles. Sin embargo, desde estos mismos aparatos de comunicación, un médico o un equipo de especialistas podría llegar a tratar una persona y conocer su estado de salud utilizando una *app* o herramienta tecnológica diseñada con dicho propósito.

En la actualidad existe una gran variedad de aplicaciones destinadas al monitoreo de la salud en las diferentes tiendas digitales para smartphones (App Store, Google Play), pero la gran

mayoría de ellas están destinadas al bienestar físico (ejercicio, fitness), dietas y control de actividades. Estas soluciones funcionan compartiendo información con el usuario sobre buenas prácticas alimentarias, rutinas deportivas y, junto con ellos, monitores biométricos que funcionan como una base de datos que el usuario puede consultar para vigilar su estado actual, por ejemplo pacientes con enfermedades ya desarrolladas o con riesgo de contraer alguna enfermedad (p. ej.: VIH (Bakshi et al., 2011), diabetes (Estrin y Sim, 2010), cáncer de seno (Littman-Quinn y Chandra, 2011).

Las aplicaciones mencionadas fueron creadas por personas no dedicadas expresamente a la atención especializada de casos médicos, y este es el punto de coyuntura para los ingenieros de sistemas, en un mercado tan amplio y técnicamente virgen, que se puede explotar creando *apps* patrocinadas y mantenidas por entidades que ya tengan un establecimiento permanente dentro de la sociedad, en la cual el Gobierno y el Ministerio de Salud y Protección Social son solo uno de los integrantes, en los cuales los equipos de profesionales de la salud puedan ofrecer y garantizar el seguimiento y control a sus pacientes, realizar campañas de prevención masiva, como por ejemplo para los frecuentes brotes epidemiológicos que se presentan anualmente en Colombia (Minsalud, 2018), entre múltiples utilidades y desarrollos que pueden ser planteados desde la escena regional y nacional e inclusive llegar a tener un alcance internacional.

4. Apoyo y financiamiento

La *M-Health* como toda nueva línea de trabajo, se encuentra en una etapa temprana de desarrollo, por lo cual no es autosostenible y requiere de ayuda y atención para que pueda llegar a todas las personas que se desea cubrir en cuanto a sus necesidades médicas, conjuntamente con una o varias capacitaciones (Friedrichs, 2011).

El primer paso para adelantar el crecimiento y desarrollo de la *M-Health* es el apoyo que el Gobierno puede suministrar, el cual se divide en dos partes: apoyo económico y legal:

- El apoyo económico es vital mas no es el más importante, ya que este simplemente es un rubro que sale del presupuesto y que se destinará al estudio, evaluación, aprobación y desarrollo de proyectos enmarcados en esta línea, pero, más allá del dinero, el apoyo económico del Gobierno da muy buena solidez a los diferentes proyectos, impulsando el apoyo y la posterior participación del sector privado.
- El apoyo legal, si no es el más importante, sí tiene una repercusión considerable, ya que este se demarca en la creación de leyes, estatutos y políticas, las cuales apoyan mediante decretos la investigación, el desarrollo y la puesta en producción de herramientas por parte directa del sector salud o subcontratando empresas dedicadas al diseño, desarrollo e implementación de nuevas TIC; estas normas deberán ser cumplidas por parte de todas las entidades prestadoras de salud (sean estas públicas o privadas) en busca de aumentar la cobertura y calidad del servicio prestado por estas.

Estos dos tipos de apoyo podrían llevar a la creación de un nuevo campo de desarrollo social, repercutiendo simultáneamente en la creación de un nicho de mercado que incluso empresas que no tienen relación directa con la medicina, permitirían que se empiecen a crear soluciones destinadas a la generación de un marco de trabajo claro y coherente, que exigirá aplicaciones cada vez mejores y más competitivas.

5. Soporte regulatorio

Con el crecimiento de las nuevas tecnologías, se desarrollan nuevas regulaciones que cubran las necesidades no solo de las empresas sino también de la sociedad beneficiaria de esta. Teniendo como base lo anterior, uno de los apoyos más grandes es crear certificaciones que no solo avalen la creación de dispositi-

vos y aplicaciones móviles orientados única y exclusivamente a servicios de salud, sino también al personal que lo opera o utiliza (Chowdhury et al., 2012).



Figura 3. Ilustración de la M-Health como medio de transporte de servicios médicos a la población.

Con base en lo anterior, se infiere que con el fin de generar una estandarización de procesos de calidad, para que las personas confíen en la *M-Health* y no se vea como una herramienta o metodología de ayuda, debe ser una verdadera y prometedoras opción en los cuidados paliativos de los pacientes, que debe ser suministrada por el Gobierno, una institución, fundación o cualquier ente en calidad de prestador de servicios de salud, gestado y mantenido por instituciones reconocidas, mediante la creación y el mantenimiento de equipos desarrolladores y de investigación conformados por profesionales de medicina e ingeniería, especialmente ingenieros de sistemas y de tecnologías afines.

6. Aceptación de los expertos

Muchos expertos de la salud pueden verse intimidados e incluso afectados al ver que los nuevos desarrollos tecnológicos buscan optimizar los procesos que ellos realizan, por ejemplo, operaciones quirúrgicas o tratamientos, pero la realidad es que, en algunos casos, la tecnología en otras ramas ha desplazado la labor humana por procesos sistematizados realizados por máquinas o programas, y muchos temen que esto llegue a ocurrir en el área de la salud (Kamsu-Foguem y Foguem, 2014).

En respuesta a esta inquietud, lo primero que se debe dar a entender sobre la *M-Health* es que se trata de una herramienta informática, diseñada desde la raíz, como una forma adicional de apoyo para obtener un mayor alcance y accesibilidad a los servicios de salud e higiene a la población en general, especialmente a las comunidades localizadas en territorios de difícil acceso o con limitaciones de transporte. En este sentido, con la *M-Health* no se busca reemplazar el trabajo de diagnóstico, estudio y tratamiento de enfermedades que pueda llegar a tener un paciente o una población entera, por parte de los profesionales de la salud.

Un segundo aspecto para tener en cuenta es que la *M-Health* es una de las tendencias dentro de las nuevas tecnologías emergentes, una derivación del actual auge que los teléfonos y dispositivos móviles están teniendo en la sociedad contemporánea, y con una notoria tendencia al crecimiento (Varshney, 2014a). Se debe tener claridad que en estos momentos la salud móvil se encuentra dando sus primeros pasos, que no posee un estándar (metodologías, métricas) definido para los desarrollos actuales, y que necesita de un importante apoyo por parte de muchas instituciones del sector educativo, salud, telecomunicaciones y, principalmente (en esta etapa temprana), por los diferentes ministerios o departamentos pertenecientes a los gobiernos (desde los cargos más locales hasta instancias internacionales), para que los desarrollos y proyectos orientados en esta línea puedan crecer y se desarrollen tanto o más como lo está actualmente la *E-Health* (que se encuentra presente de manera pasiva en las empresas prestadoras de salud, más específicamente en las funciones operativas y administrativas de estas).

7. Inclusión de la ingeniería de sistemas

La creciente demanda y el uso de dispositivos móviles (especialmente los celulares inteligentes), como principal punto de acceso a múltiples canales de información y comunicación, hace recaer sobre el profesional la responsabilidad de la creación y el uso de las nuevas tecnologías, con énfasis sobre el ingeniero de sistemas y el desarrollador de *software*, como los más idóneos en orientar

y crear aplicaciones que busquen satisfacer las necesidades de una sociedad cada día más dependiente de la tecnología, no solo por su enfoque sistémico, más que técnico, sino también por la relevancia que el profesional en sistemas tiende a buscar la solución que mejor logre optimizar y, hasta cierto punto, mejorar los procesos que como seres humanos estamos dispuestos a realizar dentro de nuestro diario vivir.

Dicho esto, el trabajo que se debe realizar, desde el punto de vista de la teoría general de sistemas, es bastante amplio (Varshney, 2014b), no solo en cuanto a desarrollos sino a investigación y creación de estándares, los cuales deben abarcar las siguientes disciplinas:

- Modelos de desarrollo predefinidos.
- Manejo de información.
- Diseño.
- Campos específicos o marcos generales de uso.

Adicional a lo anteriormente expresado, se debe mencionar que el uso de *M-Health* es exclusivo para dispositivos móviles, mas no es de uso exclusivo de equipos celulares o equipos destinados a la comunicación, ya que existe gran variedad de dispositivos con características de portabilidad similares, sin ser catalogados como *smartphones* y *tablets*, que no tienen funciones de telefonía, como la realización de llamadas de voz y envío/recepción de mensajes de texto.

El punto inicial para la investigación de esta nueva rama es conocer el estado actual en que se encuentra, recalando que en esta, al ser un área nueva de las TIC que complementa los programas de las organizaciones prestadoras de salud, aún hay temáticas sobre las cuales se deben crear estándares o tan siquiera tener una idea definida de cómo tratar los datos (Varshney, 2014b); es en esta parte donde inicia la verdadera investigación, haciendo no solo consultas de las diferentes necesidades de las entidades, sino de los profesionales de salud y los pacientes, ya que finalmente ellos son los usuarios finales de cualquier herramienta creada con la *M-Health*, y son quienes obtendrán beneficios con

su uso, implementación y posterior adaptación a cada una de las necesidades que aparezcan a través del tiempo.

El siguiente reto para el ingeniero de sistemas que decida ser creador de *apps*, es el uso de diferentes metodologías de desarrollo de *software*, que no solo brinden una clara y concreta descripción de las reglas de negocio, sino que ayuden a tener tiempos de desarrollo delimitados, manejando entregas adecuadas para cada solicitud, evitando retrasos como un mal levantamiento de requerimientos, mala praxis durante el desarrollo, cambios importantes en cualquier punto del ciclo de desarrollo o pruebas, entre otros, ya que para el área de las ciencias de la salud, el tiempo es vital y se debe dar respuesta o solución a un problema de manera rápida y eficaz; adicionalmente, se generan más costos o potenciales problemas legales (Koroma, 2012).

Tomando en cuenta lo anterior, se debe considerar que el personal que vaya a encargarse del desarrollo de aplicaciones para *M-Health*, debe contar con una amplia experiencia en el desarrollo de aplicaciones móviles y conocer diferentes entornos de desarrollo y tecnologías para las cuales se desarrolla, tal como se ilustra en la figura 4. Esto con el fin de poder dar soluciones que sean multiplataforma, logrando que los programas creados no estén restringidos a solo uno de los variados sistemas operativos actuales que se encuentran en el mercado, o una sola versión de cada uno de ellos, y sesgando así su acceso y disponibilidad.

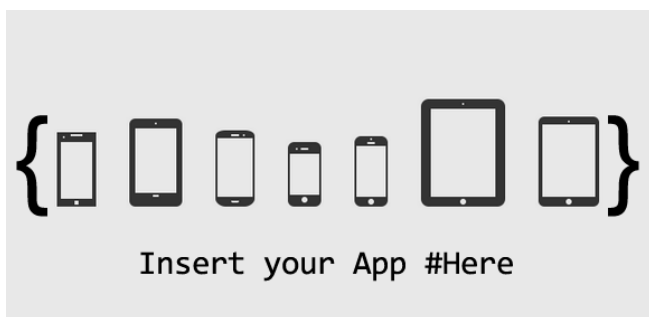


Figura 4. Inclusión de las aplicaciones M-Health en los diferentes dispositivos móviles de la actualidad (proyectos realizados por ingenieros de sistemas).

La experiencia en el desarrollo de apps se adquiere mediante un trabajo organizado y planificado, en el cual se recomienda que el profesional sea parte activa dentro de los proyectos interdisciplinarios (Eriksen, Georgsson, Hofflander, Nilsson y Lundberg, 2014), normalmente realizado por equipos compuestos por profesionales expertos en diferentes temas de la informática y la medicina, en los cuales un integrante de un equipo puede ser experto en una rama de la medicina (neurología, virología, medicina general, etc.).

Los desarrolladores deben ser ingenieros experimentados en los diferentes ciclos de desarrollo de *software*, y este es uno de los retos de cualquier profesional, quien por su naturaleza de buscar la creación inmediata de soluciones en la mayoría de los casos, no se toma su tiempo para analizar todas las variables e implicaciones inmersas en un sistema, empezando un proyecto con premura con la información que posee en el momento y sin tener en cuenta si esta es suficiente o relevante. Además de si todos los procesos para tener en cuenta se encuentran correctamente corroborados y documentados.

El segundo reto dentro del trabajo interdisciplinario, en un proyecto de este tipo, es la comunicación entre personas de diferentes áreas del saber y el quehacer humano, especialmente entre dos disciplinas tan dispares como la medicina y la ingeniería, pero que conjuntamente pueden trabajar generando un mayor y mejor resultado que si lo hicieran por separado (Kundi y Hutter, 2009). Este aspecto comunicativo nos lleva al punto de relacionar los lenguajes técnicos de cada campo: por un lado se encuentra el argot médico, y por el otro el extenso y cada vez más amplio rango de palabras técnico-lógicas que se utilizan en los sistemas de cómputo, lo cual puede llegar a ser uno de los puntos más críticos al inicio de un proyecto de desarrollo para *M-Health*; sin embargo, este solo supone uno de los pasos para determinar un patrón comunicativo que pueda ser entendido por todos y cada uno de los profesionales que hagan parte del equipo de trabajo.

El último paso para empezar la producción de un diseño y desarrollo con la *M-Health*, es la delimitación de proyectos, lo cual

hace que se deba incluir a las diferentes organizaciones prestadoras de salud (Handel, 2011), tanto públicas como privadas, las cuales son las más interesadas y las que tienen mayores necesidades en desarrollo e implementación de esta nueva tendencia en la tecnología, para expandir su cobertura, tomando como base su conocimiento de las necesidades sanitarias de la población, creando una base de conocimiento y usando casos y datos tanto reales como actuales.

8. Conclusiones

Las nuevas tecnologías de comunicación personal han traído muchas ventajas para la civilización en las últimas décadas, permitiendo a la sociedad tener un ritmo de vida más activo y menos centralizado. En la actualidad el ícono predefinido en el estilo de vida son los dispositivos móviles, los cuales abren una nueva puerta de acceso a las ciencias de la salud y de la computación, creando nuevas opciones para sus usuarios al tener una mayor y mejor atención médica local y global.

Actualmente, a pesar de que no se cuenta con estrategias estandarizadas en cuanto a la *M-Health*, se puede empezar a labrar un camino para el desarrollo de estas para, posteriormente, dejarlas plasmadas en los diferentes proyectos y aplicaciones derivadas. El punto que puede ser considerado como más importante es el de poder contar con un equipo de trabajo interdisciplinario e interorganizacional, que apadrine e invierta en el crecimiento de la *M-Health* como una herramienta mejoradora del servicio de salud para toda la comunidad.

Los ingenieros de sistemas y otros profesionales afines con las TIC tienen una nueva área de desempeño profesional con la *M-Health*, más aún en este momento que es todavía un campo virgen y abierto a la exploración y el desarrollo (Liu, Zhu, Holroyd y Seng, 2011), utilizando sus conocimientos en la creación de *software*, adquiriendo las habilidades necesarias en la resolución de problemas y apoyándose en el conocimiento de los profesionales de la salud para ampliar y mejorar este nuevo paradigma.

Finalmente se invita a la comunidad académica, empresarial, de prestación de servicios médicos y a las oficinas de tecnología gubernamentales a impulsar y generar proyectos de salud utilizando la *M-Health* como herramienta de apoyo, para crear grupos de investigación y desarrollo que generen bases de conocimiento, que propendan por mejorar los planes de salud pública con un beneficio directo a la sociedad en general.

9. Referencias bibliográficas


- Bakshi, A., Narasimhan, P., Li, J. H., Chernih, N., Ray, P. K., y MacIntyre, R. (13-15 de junio de 2011). *Health for the control of TB/HIV in developing countries*. 2011 IEEE 13th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services, HEALTHCOM 2011, 9-14. <https://doi.org/10.1109/HEALTH.2011.6026797>
- Chowdhury, M., Krishanan, S., Vishwanath, S., y Vos, J. (Febrero de 2012). *Touching lives through mobile health. Assesment of the global market opportunity*. (p. 36). Recuperado de <https://www.pwc.in/assets/pdfs/publications-2012/touching-lives-through-mobile-health-february-2012.pdf>
- Eriksen, S., Georgsson, M., Hofflander, M., Nilsson, L., y Lundberg, J. (2014). *Health in hand: putting mHealth design in context*. 2014 IEEE 2nd International Workshop on Usability and Accessibility Focused Requirements Engineering, UsARE 2014 - Proceedings, 36-39. <https://doi.org/10.1109/UsARE.2014.6890999>
- Estrin, D., y Sim, I. (5 de noviembre de 2010). Open mHealth architecture: an engine for health care innovation. *Science*, 330(6005), 759-760. <https://doi.org/10.1126/science.1196187>
- Friderichs, C. (4 de octubre de 2011). *South Africa mobile health market opportunity analysis full report*.
- Handel, M. J. (Julio-agosto de 2011). mHealth (mobile health). Using apps for health and wellness. *Explore, The Journal of Science and Healing*, 7(4), 256-261. <https://doi.org/10.1016/j.explore.2011.04.011>


- Kamsu-Foguem, B., y Foguem, C. (Diciembre de 2014). Telemedicine and mobile health with integrative medicine in developing countries. *Health Policy and Technology*, 3(4), 264-271. <https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2014.08.008>
- Koroma, I. (2012). *Programa de salud móvil: una potente nueva sociedad*. GSMA LA, 44-45. Recuperado de papers2://publication/uuid/E4AAA624-3CB7-4A3D-8ABC-912BA2FE2126
- Kundi, M., y Hutter, H. P. (Agosto de 2009). Mobile phone base stations. Effects on wellbeing and health. *Pathophysiology*, 16(2-3), 123-135. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2009.01.008>
- Littman-Quinn, R., y Chandra, A. (11-13 de mayo de 2011). *mHealth applications for telemedicine and public health intervention in Botswana*. 2011 IST-Africa Conference Proceedings, 1-11. Recuperado de http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6107376
- Liu, C., Zhu, Q., Holroyd, K. A., y Seng, E. K. (Noviembre de 2011). Status and trends of mobile-health applications for iOS devices: a developer's perspective. *Journal of Systems and Software*, 84(11), 2022-2033. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2011.06.049>
- Minsalud. (2018). *Brotos y epidemias*. Recuperado de <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/epidemiologia/Paginas/brotos-y-epidemias.aspx>
- Parker, C., y Vos, J. (Febrero de 2012). *Medical device regulation mHealth policy and position*. Recuperado de <http://www.gsma.com/connectedliving/wp-content/uploads/2012/03/gsmamedicaldeviceregulationmhealthpolicyandposition.pdf>
- Varshney, U. (2014a). A model for improving quality of decisions in mobile health. *Decision Support Systems*, 62, 66-77. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2014.03.005>
- Varshney, U. (2014b). Mobile health: Four emerging themes of research. *Decision Support Systems*, 66, 20-35. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2014.06.00>





UDEC
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA

www.ucundinamarca.edu.co

 Universidad
de cundinamarca

 ucundinamarcaoficial

 @ucundinamarca

 UCUNDINAMARCATV



Vigilada MinEducación