

# Modelado y simulación de un sistema mecánico simple: Programar en primer año de ingeniería

Natalia G. Monjelat <sup>a</sup>, Guillermo L. Rodríguez <sup>b</sup> & Patricia S. San Martín <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto Rosario de Investigaciones en Ciencias de la Educación (IRICE:CONICET-UNR), Rosario, Argentina  
[monjelat@irice-conicet.gov.ar](mailto:monjelat@irice-conicet.gov.ar), [sanmartin@irice-conicet.gov.ar](mailto:sanmartin@irice-conicet.gov.ar)

<sup>b</sup> Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina [guille@fceia.unr.edu.ar](mailto:guille@fceia.unr.edu.ar)

**Resumen**— El trabajo presenta un análisis exploratorio del proceso de construcción de simulaciones de un sistema mecánico utilizando entornos de programación con bloques por parte de alumnos universitarios. Los resultados provienen de un estudio de caso desarrollado en la asignatura de primer año "Introducción a la Ingeniería Mecánica" (Facultad de Ingeniería, UNR). Partiendo del modelado, los participantes diseñaron, programaron y evaluaron sus propias simulaciones utilizando Scratch, que resultó un recurso idóneo para ser utilizado con estudiantes con escasos conocimientos de programación. De esta forma, las simulaciones funcionaron como una herramienta de aprendizaje en una etapa temprana de la carrera. Los resultados reflejan la necesidad de propiciar propuestas educativas que permitan el estudio de los diversos aspectos del modelado, la simulación y la programación en carreras de ingeniería, ya que estas experiencias pueden facilitar el uso de entornos más específicos y potentes, siendo recursos valiosos para enriquecer situaciones curriculares y profesionales.

**Palabras Clave**— Enseñanza Universitaria; Programación; Modelado y simulación; Ingeniería Mecánica.

Recibido para revisar Abril 21 de 2017, aceptado Mayo 25 de 2017, versión final Agosto 4 de 2017

## Modelling and simulation of a simple mechanical system: Programming in first year of engineering

**Abstract**— This work presents an exploratory analysis of the process of constructing simulations of a mechanical system using programming environments with blocks by university students. We present the results of a case study developed in the subject "Introduction to Mechanical Engineering" (Faculty of Engineering, UNR), from the first year of the course. Based on the modeling, the participants designed, programmed and evaluated their own simulations using Scratch, which proved to be an ideal resource to be used with students with limited programming knowledge. In this way, the simulations functioned as a learning tool in an early stage of the university. The results reflect the need to promote educational proposals that allow the study of the different aspects of modeling, simulation and programming in engineering careers, since these experiences can facilitate the use of increasingly specific and powerful environments, being valuable resources to enrich curricular and professional situations.

**Keywords**— Higher Education; Programming; Modeling and Simulation; Mechanical Engineering.

## 1. Introducción

Diferentes recursos tecnológicos se proponen actualmente en la enseñanza de carreras científico-tecnológicas de nivel

superior, dentro de los cuales se destacan las simulaciones por computadora. Unido a éstas, el desarrollo de los modelos físico-matemáticos subyacentes, son beneficiosos para ilustrar conceptos propios de las diversas asignaturas.

Particularmente en las carreras de Ingeniería, se han desarrollado múltiples experiencias que buscan introducir al alumnado en el mundo del modelado y la simulación [1,2], ya que estos saberes resultan un requisito fundamental para su desempeño en el ámbito académico, como así también en su vida laboral.

Por otra parte, crear simulaciones es una tarea compleja que implica la comprensión de conocimientos no solo de ingeniería, sino también de programación informática [3,4]. En este sentido, la mayoría de los alumnos que ingresan a la universidad carecen de los contenidos previos necesarios para abordar estas tareas y deben aprenderlos en un periodo corto de tiempo. Es por ello que un gran número de las experiencias realizadas en primer año apuntan exclusivamente al uso de simulaciones y están vinculadas principalmente a asignaturas centradas en la enseñanza de las ciencias [5-7]. Sin embargo, existen herramientas sencillas que permiten el aprendizaje de nociones básicas de programación y que podrían ser utilizadas para construir simulaciones y trabajar en el espacio universitario con diferentes modelos. En este sentido resulta necesario estudiar las posibilidades que ofrecen las herramientas disponibles para programar simulaciones atendiendo tanto a contenidos específicos como a las características particulares del alumnado.

Considerando estas cuestiones se presentan los resultados de una propuesta pedagógica innovadora realizada en la cátedra "Introducción a la Ingeniería Mecánica" (1º año, carrera Ingeniería Mecánica) de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario (UNR), donde se llevó adelante un proyecto con el objetivo de abordar el análisis de un sistema mecánico a través de la construcción de un modelo simplificado del mismo, construyendo su simulación con herramientas básicas de programación.

**Como citar este artículo**: Monjelat, N.G., Rodríguez, G.L. and San Martín, P.S., Modelado y simulación de un sistema mecánico simple: Programar en primer año de ingeniería. Educación en Ingeniería, 13(25), pp. 4-11, Febrero, 2018.

## 2. Construir modelos y simulaciones

Diversas investigaciones destacan el modelado y la simulación entre los recursos que más promueven el aprendizaje activo, crítico y reflexivo, estimulan la creatividad y permiten poner a prueba hipótesis [8,9].

Un modelo se define como la información relativa a un sistema, recabada a los fines de estudiarlo [10]. Esta información está determinada por los propósitos del estudio del mismo, por lo cual esto da lugar a diversos modelos según el enfoque y la profundidad del análisis. Sumado a esto, sabemos que una simulación es el proceso de desarrollar y programar un modelo de un sistema real o no, con el fin de estudiar el comportamiento del mismo en determinadas condiciones.

Por otra parte, Riesco y otros [11] señalan que mientras que hasta hace poco tiempo, el manejo de la informática consistía en el uso de aplicaciones, tanto la evolución del hardware como del software han provocado un cambio en el rol del usuario para pasar de un mero consumidor y operador, a sumar el rol de intervenir estas tecnologías por medio de las opciones que ofrecen para modificarlas y adaptarlas a sus necesidades.

En consonancia, Ingerman [12] define cuatro formas en que los estudiantes interactúan con las simulaciones:

- verlas como una tarea que debe completarse,
- verlas como una representación del fenómeno,
- manipularlas para entender cómo la simulación trabaja ó
- explorar el fenómeno mismo usando la simulación.

Las dos primeras apuntan esencialmente al uso de las simulaciones como recurso didáctico u objeto educativo digital. El tercero y el cuarto, señalan la interacción con la simulación a nivel programación. En este sentido, otros estudios señalan [13,14] que la experiencia de aprendizaje es más valiosa cuando el alumno no sólo usa la simulación, sino que también la diseña, construye, y tras evaluarla, puede modificarla en un proceso que implica la comprensión de los conceptos abarcados. De esta manera, investigaciones previas muestran la importancia de la metodología en espiral a lo largo del trayecto curricular de las carreras, donde los modelos desarrollados y las simulaciones programadas son retomadas con distintos niveles de profundidad [15,16].

Por otra parte, diferentes autores [17-20] nos hablan de las diversas competencias que los estudiantes logran a través de la programación de simulaciones. Estas incluyen: desarrollar el conocimiento de los estudiantes sobre paquetes de software determinados, fortalecer sus habilidades para resolver problemas, comprender los beneficios de las simulaciones como herramientas de aprendizaje, capacidad para transferir conocimientos adquiridos a otras áreas, aproximarse de manera compleja a la realidad, fomentar la interacción entre compañeros, y realizar tareas abiertas.

Considerando estas cuestiones, resulta fundamental proponer experiencias en este sentido realizando estudios de los procesos de construcción de simulaciones en una práctica inicial de primer año para la formación en ingeniería. En nuestro caso se planteó el análisis, construcción del modelo y programación de la simulación de una pelota pequeña rebotando sobre una superficie lisa. Para esto, se presentó el modelo físico matemático de caída libre y tiro vertical (no se tiene en cuenta el rozamiento del aire y por tanto se considera

la pelota como un punto material). Al contener en su descripción sólo los detalles relevantes para su estudio, este modelo es una simplificación del sistema al que hace referencia a través de las ecuaciones matemáticas (1) y (2):

$$vf = v_0 - g T \quad (1)$$

$$Y = v_0 T - \frac{1}{2} g T^2 \quad (2)$$

De esta forma, se propone simular el movimiento de la pelota insertando a través de la programación las ecuaciones antes citadas y agregando a su vez las condiciones de contorno necesarias.

## 3. Programar en los primeros años de la universidad

Actualmente se está potenciando la enseñanza de la programación y su uso como recurso educativo y como competencia general en distintos lugares del mundo. Diversos autores sostienen que la programación aporta herramientas para dejar de ser meros consumidores de software y comprender cómo funciona, mejorando diferentes habilidades [21,22]. Por esto se propone la enseñanza de la programación no sólo enfocado a la enseñanza de un lenguaje en particular sino al desarrollo del pensamiento computacional incluso como una habilidad básica en nuestra sociedad [23]. Sin embargo, el uso y entendimiento de los lenguajes de programación ha sido históricamente difícil, ya que implica comprender una sintaxis especializada que no admite errores [24]. La mayoría de los lenguajes de programación parecen una escritura extraña para el ojo no entrenado y es por ello que en los cursos introductorios de programación, se ha observado que los estudiantes tienen que llegar a ser especialistas de la sintaxis, antes de poder resolver los problemas [25].

Considerando este escenario, en los últimos años se han desarrollado diferentes propuestas que ofrecen entornos visuales de programación, que permiten a los usuarios centrarse en la semántica, antes que en la sintaxis. Entre las más destacadas se señalan Scratch, Alice, Blockly y Kodu, plataformas en las cuales es necesario arrastrar distintos bloques para generar código [26]. Asimismo, en este marco se destacan iniciativas como "Code.org" que ofrecen actividades de programación con bloques para diferentes usuarios en más de 20 idiomas dentro de la propuesta la "Hora del código", de la que ya han participado más de trescientos millones de personas (<https://ar.code.org/>).

En educación superior también se observa esta tendencia a emplear plataformas de programación con bloques, particularmente en los cursos universitarios iniciales. Aunque existen diferentes herramientas, la revisión de experiencias realizadas en educación superior permite identificar cierta tendencia favorable hacia el uso de Scratch, plataforma desarrollada por el grupo "Lifelong Kindergarten" perteneciente al MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) [27]. Esta herramienta propone un lenguaje de programación basado en bloques agrupados en categorías que son utilizados para manipular los atributos de los objetos. Aunque fue creada para un público más joven, diferentes estudios señalan su

potencial en el ámbito universitario, particularmente en propuestas de enseñanza de programación para alumnos ingresantes. En este sentido los estudios previos destacan que trabajar con el encastre de bloques para armar los programas, permite que los estudiantes que se inician en la programación puedan concentrarse en la resolución del problema, incorporando la sintaxis en tanto arman los algoritmos, centrándose primero en los problemas lógicos [28-30]. Asimismo, las investigaciones coinciden en señalar esta herramienta como una puerta de entrada a lenguajes más complejos como Java, C o Pascal [31], destacando además el potencial que tiene Scratch para motivar a los estudiantes, permitiendo el acceso a nociones fundamentales de programación [25]. Sin embargo, existen otras herramientas también utilizadas con programadores novatos que permiten un acercamiento a lenguajes más avanzados (por ejemplo Alice, Karel the robot, etc.), pero los estudios en educación superior señalan la flexibilidad que ofrece Scratch para construir múltiples tipos de proyectos, así como su curva de aprendizaje no tan pronunciada como en otros casos [30]. En este sentido, se destaca la existencia de material de ayuda disponible (como wikis y tutoriales) y una extensa comunidad online, donde se cuenta con la posibilidad de observar por dentro los millones de proyectos disponibles en la versión online, que pueden ser tomados como referencia para realizar proyectos nuevos [27].

Por todo lo dicho, propusimos utilizar la plataforma Scratch para construir las simulaciones utilizando bloques, dado que posibilita una oportunidad para el análisis detallado de cómo los estudiantes pueden implementar los modelos ya desarrollados, en un entorno de manera sencilla y completa.

#### 4. Metodología

El presente estudio se propone explorar el proceso de construcción de simulaciones de un sistema mecánico utilizando entornos de programación con bloques por parte de alumnos universitarios ingresantes. Considerando que este recorte en el campo resulta novedoso, se ha desarrollado un estudio de caso exploratorio [32] utilizando técnicas etnográficas [33,34], ya que permite obtener resultados preliminares que contribuyan al conocimiento sobre estas temáticas, que serán empleados para el diseño de futuras experiencias.

##### 4.1 Contexto y participantes

Para los propósitos del estudio se diseñó un taller de seis encuentros dentro del espacio curricular Introducción a la Ingeniería Mecánica, en la carrera Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Rosario. Esta asignatura plantea perspectivas pedagógicas activas desde una modalidad de taller físico-virtual [35], abordando la práctica analítica sobre casos de la Ingeniería Mecánica, en el marco interactivo y comunicacional que brindan las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), como apoyo a los procesos de enseñanza y de aprendizaje [36]. En este sentido, la práctica participante en las diversas actividades propuestas en función de los objetivos planteados, es constitutiva al propio contenido

de la formación que se fundamenta, adoptando una dinámica constructivista dialéctica [37].

En este marco, los desarrollos teóricos y prácticos se trabajan interrelacionando contenidos, promoviendo el aprendizaje colaborativo y la producción cooperativa. De esta forma, la reflexión y discusión de los distintos temas se construye a partir de exploraciones o producciones analíticas realizadas en pequeños grupos. Con este enfoque, la asignatura propone una totalidad de diez trabajos a lo largo del cuatrimestre, individuales y grupales. En este contexto, se propuso realizar la experiencia de construcción de simulaciones en el marco del trabajo final grupal, que busca tener un carácter integrador de las diversas temáticas y ser propositivo en cuanto a las habilidades y actitudes señaladas como necesarias en la labor del ingeniero.

En cuanto al sistema mecánico propuesto para simular, se optó por este ejemplo por tres razones: los conceptos necesarios para la construcción de la simulación son desarrollados en la asignatura Introducción a la Física, que se dicta en paralelo, fortaleciendo la articulación entre actividades curriculares; se contempló la facilidad en la realización experimental de la actividad (bajo costo y facilidad en la obtención de los materiales necesarios) y finalmente, este problema es retomado en tercer año con una complejidad mucho mayor, utilizando otro lenguaje de programación y simulación. De esta forma, se pretende generar una articulación longitudinal de la carrera, que plantea una visión espiralada respecto a la resolución de los problemas de ingeniería, logrando mejoras en las soluciones a partir de la profundidad técnica.

En esta experiencia inicial, se propuso utilizar la herramienta de programación Scratch, ya que una revisión sobre el tema destaca su empleo tanto con estudiantes de secundario como con estudiantes ingresantes, ofreciendo un entorno de bloques que puede adaptarse a las necesidades diversas del alumnado. Los bloques están organizados en diferentes categorías, que a su vez, incluyen otros bloques con múltiples opciones, tal como presenta la Fig. 1.

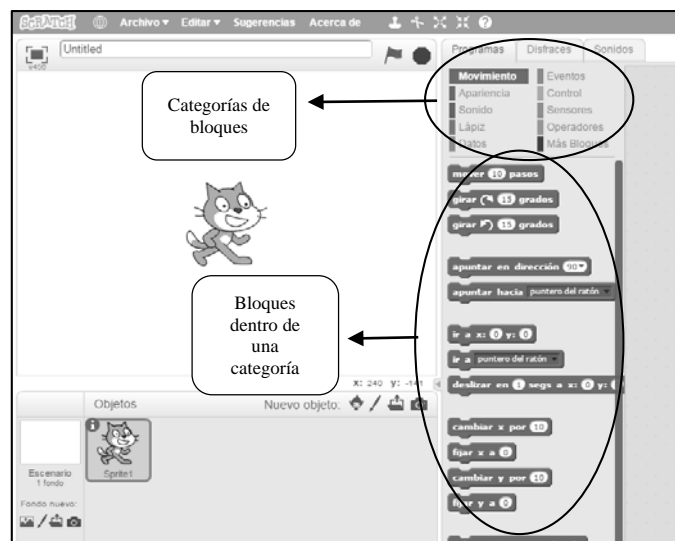


Figura 1. Captura de Pantalla portada de Proyecto Scratch.  
Fuente: Los autores

A los fines del estudio, se trabajó con una muestra compuesta por estudiantes ingresantes del espacio curricular descripto. Particularmente, participaron los estudiantes de la comisión de la noche, conformada inicialmente por 19 estudiantes. Sin embargo, debido al desgranamiento propio del primer año participaron de la experiencia de manera completa 15 alumnos, edad media=19.33. El 40% de los estudiantes participantes contaba con formación secundaria técnica, mientras que el 86.7% desconocía Scratch. En cuanto a conocimientos previos de programación, el 53.3% no había programado previamente. Considerando estas cuestiones se propuso una conformación aleatoria de los grupos, constituyéndose seis grupos de entre dos y cuatro participantes. También participaron de la experiencia el docente de la cátedra y una investigadora.

#### 4.2. Recolección y análisis de datos

A lo largo de la experiencia se recogieron diferentes tipos de datos en formatos diversos. Considerando la importancia de recopilar el proceso de construcción de la simulación, se grabaron en audio todos los encuentros presenciales permitiendo contar con datos sobre los problemas encontrados durante la construcción, las posibles soluciones propuestas y las justificaciones esgrimidas por los propios participantes al consultarles sobre las decisiones tomadas durante el proceso al presentar sus simulaciones al resto del grupo en la última clase.

Por otra parte, se recogieron los informes finales elaborados por los grupos así como las simulaciones creadas con la herramienta Scratch (las simulaciones realizadas fueron recopiladas en un estudio creado ad hoc: <https://scratch.mit.edu/studios/1976294/>). Para la elaboración de los informes se solicitó al alumnado seguir un protocolo específico de redacción planteado al comienzo de la actividad por la cátedra, que permite plasmar el proceso constructivo del modelo y de la simulación en su totalidad. Dicho protocolo recoge tanto la definición del problema como una copia del código final elaborado en Scratch, incluyendo a su vez la explicitación de dificultades encontradas a lo largo del trabajo y su resolución por parte del grupo.

Para el análisis de los datos se siguió el enfoque del estudio de caso [38] realizando un análisis de discurso [39] que permitió caracterizar el proceso de construcción de las simulaciones en un entorno de programación como Scratch. Para ello, todas las grabaciones en audio fueron procesadas con la ayuda de OTranscribe (<http://www.otranscribe.com>). Las transcripciones resultantes junto con los informes y las capturas de pantalla de las simulaciones se codificaron con la ayuda del programa Atlas ti (<http://atlasti.com/>). Los datos cuantitativos fueron procesados con la ayuda de SPSS (<http://www-03.ibm.com/software/products/es/spss-stats-base>).

### 5. Resultados y discusión

Un primer análisis de los datos registrados permitió identificar tres momentos diferenciados pero articulados, en cuanto al proceso de construcción de las simulaciones a lo largo de los seis encuentros que comprendió el taller.

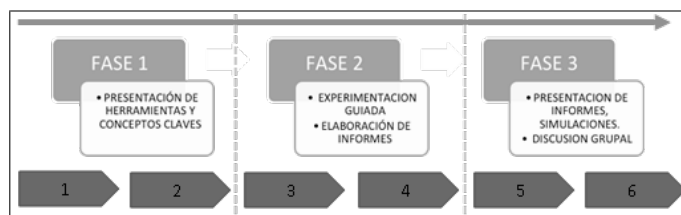


Figura 2. Ordenamiento de Fases de la Actividad.

Fuente: Los autores

Tabla 1  
Distribución de bloques utilizados

	Cantidad de grupos	Porcentaje de casos
Eventos	6	100,0%
Variables	5	83,3%
Movimiento	6	100,0%
Apariencia	1	16,7%
Sensores	6	100,0%
Control	6	100,0%
Operadores	5	83,3%

Fuente: Los autores

Como se observa en la Fig. 2, durante los dos encuentros que comprendieron la primera fase, se retomaron conceptos de cinemática ya vertidos en la asignatura que se dicta de manera paralela en el mismo cuatrimestre denominada “Introducción a la Física”.

Por otra parte, se presentaron de manera dialogada las ecuaciones ya citadas, aplicándolas y resolviendo ejemplos. Asimismo se expuso de manera general el entorno Scratch (entorno, tipos de bloques, proyectos online, web, wiki, foros), y cada estudiante creó su cuenta de usuario. También se presentaron los tutoriales que aparecen en la web de la herramienta, se exploraron otros proyectos compartidos por la comunidad y se señaló la posibilidad de re-utilizar código presente en ellos.

Durante los encuentros de la segunda fase se retomaron las nociones básicas de programación (eventos, variables, iteraciones, etc.) y se conformaron los seis grupos definitivos de trabajo para la resolución del problema. A lo largo de los encuentros se discutieron colectivamente las posibles soluciones, los conceptos y ecuaciones utilizadas, generando un espacio para la consulta y resolución de dudas.

Finalmente, durante la tercera fase, los participantes se centraron en la preparación y presentación tanto del informe como de la simulación, que fueron presentados y discutidos en clase durante el último encuentro.

#### 5.1. Análisis de las simulaciones

Los siete grupos de trabajo construyeron las simulaciones utilizando diferentes combinaciones de bloques para la programación del modelo físico matemático. Como se observa en la Tabla 1, el 100% de los grupos utilizó los bloques de eventos, movimiento, sensores y control. Las variables y los operadores representaron un 83,3%, que corresponde a 5 grupos. Por su parte los bloques de apariencia fueron empleados por un solo grupo, representando un 16,7% del total.

Respecto a los bloques utilizados por la mayoría, se observan diferencias en las elecciones dependiendo de la forma

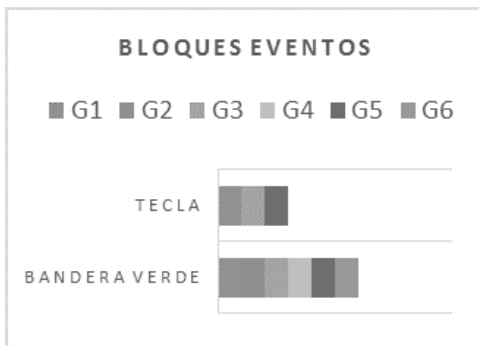


Figura 3. Bloques de Eventos utilizados  
Fuente: Los autores

en que estructuraron la programación. En los siguientes gráficos se presenta un análisis pormenorizado de los bloques utilizados por cada grupo, agrupados bajo las categorías predeterminadas de Scratch, previamente presentadas.

Con respecto a la categoría “Eventos”, bloques que permiten iniciar secuencias de programación, se relevaron dos opciones escogidas por los participantes para iniciar sus programas.

Como se observa en la Fig. 3, todos los grupos emplearon el evento “Bandera verde” ya que este bloque es el encargado de iniciar todas las acciones dentro de Scratch. Tres grupos emplearon además un bloque alternativo: “Al presionar X tecla”, con diferentes finalidades. El grupo 1 complejizó su simulación agregando mayores funcionalidades, empleando la tecla espacio para observar la simulación en cámara lenta. El grupo 3 utilizó la tecla espacio para controlar el comienzo de la simulación, empleando la bandera solo para ubicar el objeto de manera inicial. Por su parte el grupo 5 utilizó la tecla espacio pero con la misma finalidad que en la bandera, sin aportar ninguna variación a la programación.

Otras categorías fundamentales para la construcción de la simulación han sido los “Bloques de Control”, que combinados principalmente con los “Bloques de Movimiento”, han permitido controlar la caída de la pelota y su rebote, a partir de condicionales y repeticiones.

Como refleja la Fig. 4, dentro de los bloques de control se observa por un lado el uso de condicionales “Si, sino” y “Si, entonces” o el uso de “Repetir hasta”, como dos opciones diferentes de controlar la secuencia de acciones. Asimismo, se observa una gran diferencia en cuanto a la cantidad de bloques de control empleados, algunos grupos usaron solo uno o dos bloques, mientras que otros emplearon hasta 4 bloques diferentes. Podría inferirse que a mayor cantidad de bloques, más completa la programación, sin embargo esto depende del tipo de bloques que acompañan a los de control.

En este sentido, los grupos que utilizaron los condicionales los combinaron con bloques específicos de movimiento tales como “Posición”, “Ir a X, Y”, “Deslizar a X, Y” y “Fijar X, Y”. Por su parte, los que utilizaron repeticiones operaron con otros bloques de movimiento como “Apuntar en dirección” e “Ir a X, Y”. De esta manera existen bien definidas dos propuestas de bucles para controlar el movimiento de la pelota.

Para reproducir el movimiento de la pelota y sus rebotes, los grupos tuvieron que asignar una posición inicial al objeto pelota, para que desde allí realizara su movimiento de rebote.

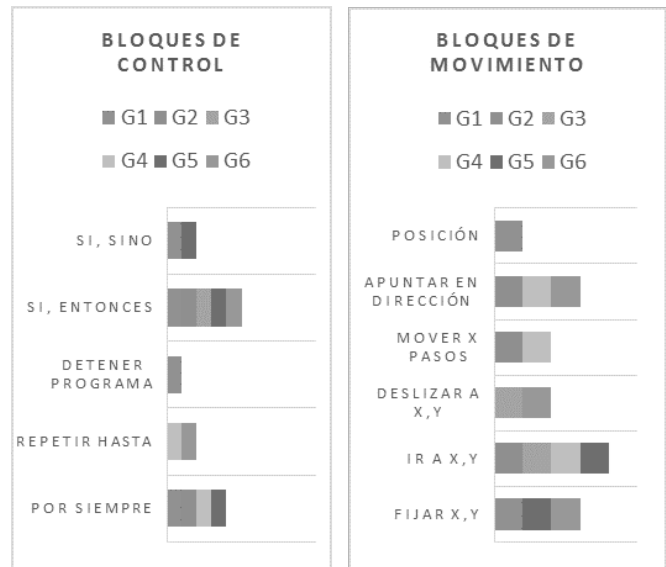


Figura 4. Bloques de Control y Movimiento  
Fuente: Los autores

Para esto, el bloque más empleado ha sido “Ir a X, Y” que permite ubicar la posición de un objeto dentro del sistema de coordenadas que ofrece la herramienta. Los grupos que no recurrieron a este bloque utilizaron “Fijar X, Y”, en ambos casos bajo la bandera verde para obtener el mismo resultado.

Por otra parte, en lo que respecta al rebote, los grupos recurrieron a diferentes bloques: “mover una determinada cantidad de pasos”, “deslizar a X, Y” e incluso nuevamente “ir a X, Y”. El grupo 1 utilizó “fijar X, Y” tanto para la posición inicial como para el movimiento, pero en este segundo caso, el bloque se articula con otros de control, variables, operadores e incluso el bloque “posición en X, Y”.

Otro resultado que se desprende del análisis refiere al sistema de coordenadas que presenta Scratch, donde los ejes X-Y establecen el punto (0,0) en el centro de la pantalla. Esto generó dificultades para todos los grupos, forzando a un cambio de signo en las ecuaciones si se quería que la simulación estuviera centrada.

En cuanto al uso de “Bloques de Sensores”, todos los grupos generaron el movimiento a partir de una interacción detectada por un sensor, por lo cual estos bloques también fueron importantes para generar la simulación.

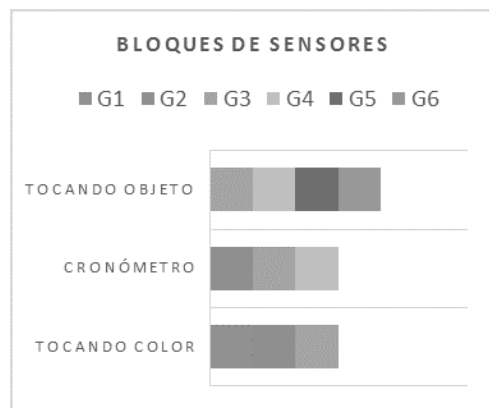


Figura 5. Bloques de Sensores  
Fuente: Los autores

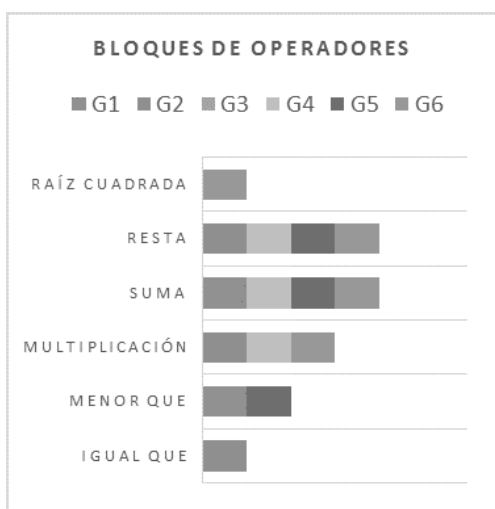


Figura 6. Bloques de Operadores  
Fuente: Los autores

Los tipos de bloques empleados en todos los casos se incluyeron dentro de un bloque de control, ya que así lo requiere la programación, denotando esto con una forma particular. Como se observa en la Fig. 5, la mayoría de los grupos optó por crear un segundo objeto, empleando el bloque “Tocando objeto” y luego generar el rebote en base a una interacción entre este objeto y la pelota. Esta propuesta es la más coherente desde lo conceptual en vinculación al fenómeno real. Un solo grupo generó la interacción a partir del color, y otro, aunque creó el objeto, prefirió recurrir también al color. Con respecto a los demás sensores utilizados en los proyectos, se observa que tres grupos controlaron con ellos el tiempo de la caída y los rebotes utilizando el cronómetro.

Otra categoría que no podía faltar si se considera el problema a resolver, es la de “Bloques de Operadores”, ya que permiten introducir ecuaciones matemáticas dentro de la simulación.

En este caso la Fig. 6 presenta un uso diverso de las distintas operaciones, siendo la suma y la resta las más empleadas por los grupos. Aunque las fórmulas fueron las mismas, cada grupo las empleó de manera diferente, utilizando por lo tanto una combinación particular de las operaciones matemáticas disponibles. En este sentido, a la mayoría de los grupos les resultó difícil insertar la fórmula con sus respectivos resultados dentro del programa, ya que pese a comprender la ecuación y como ésta representaba la realidad, no lograban resolver cómo introducirla por medio de los bloques que presenta el programa. En este sentido, algunos estudiantes señalaron esto como una posible limitación en cuanto a la estructura cerrada de los bloques.

El análisis presentado refleja cómo los diferentes programas materializan el comportamiento modelado del sistema real, incluyendo ecuaciones matemáticas y combinaciones particulares de bloques, que muestran diferentes maneras de construir la simulación contando con las mismas herramientas. Las relaciones entre los bloques escogidos por los grupos responden por un lado a la lógica interna de programación y por otro, a las reglas propias del modelo físico matemático. De esta manera, los grupos lograron construir una simulación operativa

y compararla con los resultados reales. Por último cabe señalar que a partir de un marco de trabajo iterativo y colaborativo, aquellos grupos que tuvieron algunas dificultades en las distintas instancias del proceso, tuvieron la posibilidad de optimizar sus prototipos subsanando progresivamente las problemáticas observadas.

## 6. Conclusiones

Este estudio utilizó el marco del modelado, la simulación y la programación para la enseñanza de la ingeniería en primer año. Los resultados mostraron que la implementación de las simulaciones con bloques fue variada y correcta. La elección de los mismos fue coherente a la propuesta y las diferencias encontradas tuvieron que ver principalmente con decisiones adoptadas por cada grupo. Las dificultades observadas no impidieron la construcción del modelo y su ulterior simulación en Scratch respondiendo a la consigna planteada. En este sentido, la presente experiencia permitió no solo poner a prueba un modelo, sino permitir a los estudiantes el diseño, programación y evaluación de su simulación, apropiándose del contenido conceptual involucrado.

Como sostienen estudios previos ya citados, la posibilidad de construir modelos simplificados es algo fundamental vinculado a la enseñanza, siendo un proceso que puede desarrollarse de manera paulatina y con diferentes niveles de complejidad a medida que el estudiante recibe un mayor andamiaje conceptual. En este caso, los estudiantes emplearon una herramienta sencilla, que les permitió acercarse a nociones básicas de programación. De esta forma, las simulaciones funcionaron como una herramienta de aprendizaje en una etapa temprana de la carrera.

Esta experiencia previa podría facilitar el uso de entornos cada vez más específicos y potentes, siendo un recurso valioso para enriquecer situaciones curriculares. De esta forma, los resultados reflejan la necesidad de propiciar propuestas educativas que permitan el estudio de los diversos aspectos del modelado, la simulación y la programación en carreras de ingeniería.

## Referencias

- [1] Fletcher, L.S., Mechanical engineering education for the 21st Century. *International Journal of Engineering Education*, 13(1), pp. 42-51, 1997.
- [2] Fraser, D., Pillay, R., Tjatindi, L. and Case, J., Enhancing the learning of fluid mechanics using computer simulations, *Journal of Engineering Education*, 96(4), pp. 381-388, 2007. DOI: 10.1002/j.2168-9830.2007.tb00946.x
- [3] Coppo, R., Cavallo, A. y Ursua, G., Sistema didáctico para la enseñanza de la programación con metodologías de aprendizaje basado en problemas. En XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, Rosario, 2011.
- [4] González, A. y Madoz, M.C., Utilización de TIC para el desarrollo de actividades colaborativas para la enseñanza de la programación, En VIII Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología, Red de Universidades con Carreras en Informática, Santiago del Estero, 2013.
- [5] Zacharia, Z.C., Comparing and combining real and virtual experimentation: An effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits, *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(2), pp. 120-132, 2007. DOI: 10.1111/j.1365-2729.2006.00215.x

- [6] Castellaro, M. y Ambort, D., Estrategias para la motivación e integración en el primer año universitario: Innovación mediante resolución de problemas y trabajo colaborativo, *Virtualidad, Educación y Ciencia*, 7(12), pp. 85-98, 2016.
- [7] Linder, C., Fraser, D.M. and Pang, M.F., Using a variation approach to enhance physics learning in a college classroom, *The Physics Teacher*, 44, pp. 63-66, 2006. DOI: 10.1119/1.2396777
- [8] Magana, A.J., Brophy, S.P. and Bodner, G.M., Instructors' intended learning outcomes for using computational simulations as learning tools, *Journal of Engineering Education*, 101(2), pp. 220-243, 2012. DOI: 10.1002/j.2168-9830.2012.tb00049.x
- [9] Johri, A. and Olds, B.M., Situated engineering learning: Bridging engineering education research and the learning sciences. *Journal of Engineering Education*, 100(1), pp. 151-185, 2011. DOI: 10.1002/j.2168-9830.2011.tb00007.x
- [10] Gordon, G., *Simulación de sistemas*, México D.F., Ed. Diana, 1991.
- [11] Riesco, M., Fondón, M., Álvarez, D., López, B., Cernuda, A., Juan, A., *Informática: Materia esencial en la educación obligatoria del siglo XXI*, Revista Electrónica ReVisión, 7(3), pp. 53-60, 2014.
- [12] Ingerman, A., Linder, C. and Marshall, D., Learning-focuses in physics simulation learning simulations, In 12th Annual Conference of SAARMSTE, Cape Town, South Africa, 2004.
- [13] Gil Martín M. y García-Barneto, A., Entornos constructivistas de aprendizaje basados en simulaciones informáticas, REEC: Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 5(2), pp. 304-322, 2006.
- [14] Gunstone, R.F., Constructivism and learning research in science education, in *Constructivism in Education: Opinions and Second Opinions on Controversial Issues*, D.C. Phillips Ed., Chicago, IL: University of Chicago Press, 2000, pp. 254-280.
- [15] Brophy, S.P., Magana, A.J. and Strachan, A., Lectures and simulation laboratories to improve learners' conceptual understanding. *Advances in Engineering Education*, 3(3), pp. 1-28, 2013.
- [16] Carbonell, V., Romero, C., Martínez E. and Flórez, M., Interactive simulations as teaching tools for engineering mechanics courses. *European Journal of Physics*, 34(4), pp. 991-1004, 2013. DOI: 10.1088/0143-0807/34/4/991
- [17] Streicher, S.J., West, K., Fraser, D.M., Case, J.M. and Linder, C.J., Learning through simulation: Student Engagement, *Chemical Engineering Education*, 39(4), pp. 288-295, 2005.
- [18] Goodyear, P., A Knowledge-based approach to supporting the use of simulation programs, *Computers and Education*, 16, pp. 99-103, 1990. DOI: 10.1016/0360-1315(91)90049-W
- [19] Parush, A., Hamm, H. and Shtub, A., Learning histories in simulation-based teaching: The effects on self-learning and transfer. *Computers and Education*, 39, pp. 319-332, 2002. DOI: 10.1016/S0360-1315(02)00043-X
- [20] Davies, C.H.J., Student engagement with Simulations: A case study, *Computers and Education*, 39, pp. 271-282, 2002. DOI: 10.1016/S0360-1315(02)00046-5
- [21] Balanskat, A. and Engelhardt, K., Computing our future. *Computer programming and coding. Priorities, school curricula and initiatives across Europe*, Brussels, 2015.
- [22] Lye, S.Y and Koh, J.H.L., Review on teaching and learning of computational thinking through programming: What is next for K-12?, *Computers in Human Behavior*, 41, pp. 51-61, 2014. DOI: 10.1016/j.chb.2014.09.012
- [23] Yadav, A., Hong, H. and Stephenson, C., Computational thinking for all: Pedagogical approaches to embedding 21st Century problem solving in K-12 Classrooms. *TechTrends*, (May), 2016, pp. 10-13. DOI: 10.1007/s11528-016-0087-7
- [24] Kelleher, C. and Pausch, R., Lowering the barriers to programming. *ACM Computing Surveys*, 37(2), pp. 83-137, 2005. DOI: 10.1145/1089733.1089734
- [25] Malan, D.J. and Leitner, H.H., Scratch for budding computer scientists. In *Thirty-Eighth Sigse Technical Symposium on Computer Science Education*, Covington, 2007. DOI: 10.1145/1227310.1227388
- [26] Kaleliog, F., A new way of teaching programming skills to K-12 students: Code.org. *Computers in Human Behavior*, 52, pp. 200-210, 2015. DOI: 10.1016/j.chb.2015.05.047
- [27] Maloney, J., Resnick, M., Rusk, N., Silverman, B. and Eastmond, E., The scratch programming language and environment. *ACM Transactions on Computing Education*, 10(4), pp. 1-15, 2010. DOI: 10.1145/1868358.1868361
- [28] Garcia, D., Harvey, B. and T. Barnes, T., The beauty and joy of computing. *ACM Inroads*, 6(4), pp. 71-79, 2015. DOI: 10.1145/2835184
- [29] Willging, P., Astudillo, G.J. y Bast, S.G., El software de animación como una estrategia innovadora para el aprendizaje de lenguajes de programación, En *XIV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, Misiones, 2012.
- [30] Wolz, U., Leitner, H.H., Malan, D. and Maloney, J., Starting with scratch in CS 1. *ACM SIGCSE Bulletin*, 41(2). SIGSE 2009. New York, Estados Unidos. Marzo 2009.
- [31] Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernandez, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., Millner, A., Rosenbaum, E., Silver, J., Silverman, B. and Kafai, Y., *Scratch: Programming for all*. *Communications of the ACM*, 52(11), pp. 60-67. 2009. DOI: 10.1145/1592761.1592779
- [32] Yin, R.K., *Case study research: Design and methods*. SAGE. London. 2003.
- [33] Atkinson, P., Coffey, A., Delamont, S., Lofland, J. and Lofland, C., *Handbook of ethnography*. London: Sage, 2007.
- [34] Walford, G., The nature of educational ethnography, in: *How to do educational ethnography*, G. Walford (Ed.). London: Tufnell Press, 2008, pp. 1-15.
- [35] San Martín, P., Aspectos sociales y tecnológicos del Dispositivo Hipermedial Dinámico desarrollados en diferentes contextos educativos, *Revista de Educación*, 4(5), pp. 81-98, 2013.
- [36] San Martín, P. y Rodríguez, G., Construir un nuevo diseño curricular participando de un Dispositivo Hipermedial Dinámico, *Revista Cognición. Revista Científica de FLEAD*, 22, pp. 1-17, 2009.
- [37] Braccialarghe, D., Introcaso, B. y Rodríguez, G., Hacia la construcción de la modalidad de taller como propuesta de integración entre introducción a la ingeniería y las ciencias básicas, *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería*, 4(9), pp. 41-50, 2015.
- [38] Yin, R.K., *Applications of case study research* (3rd ed.). London: Sage, 2011.
- [39] Gee, J.P. and Green, J.L., Discourse analysis, learning and social practice: A methodological study. *Review of Research in Education*, 23, pp. 119-169, 1998. DOI: 10.3102/0091732X023001119

**N.G. Monjelat**, recibió el título de Lic. en Psicopedagogía en 2008 por la Universidad Nacional de San Martín, Buenos Aires, Argentina, de MSc. en Comunicación y Aprendizaje en la sociedad digital en 2012 y de Dra. en Comunicación, Educación y Sociedad en 2013, estos dos últimos de la Universidad de Alcalá, Madrid, España. De 2010 a 2015 fue investigadora en el Grupo Imágenes, Palabras e Ideas de la Universidad de Alcalá, coordinado por Pilar Lacasa. Asimismo, fue docente en dicha institución y en la Universidad Internacional de la Rioja. Durante su estadía en España, dictó además cursos de programación a docentes de nivel primario y secundario y talleres a niños en estas temáticas. En 2016 se incorporó como becaria postdoctoral en el Instituto Rosario de Investigaciones en Ciencias de la Educación (IRICE: CONICET-UNR) donde se radicó posteriormente como Investigadora Asistente, cargo que desempeña actualmente. Sus intereses investigativos incluyen: procesos de enseñanza y aprendizaje en diferentes niveles educativos mediados por tecnologías de la información y la comunicación, investigación cualitativa, pensamiento computacional y programación en contextos educativos, entre otros.  
ORCID: 0000-0002-5043-8989

**G.L. Rodríguez**, recibió el título de Ing. Mecánico en 1998 y de Dr. en Ingeniería en 2011, todos ellos de la Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina. También posee el diploma de Profesor en Filosofía, año 2004. Desde 1996 al 2004 trabajó en la industria regional metalmeccánica en las áreas de diseño y mecánica computacional. Comenzó como docente auxiliar en la Universidad Nacional de Rosario en 1997 y es profesor titular dedicación exclusiva desde el año 2011. Desde hace varios años participa activamente en proyectos acreditados de I+D en el área de Nuevas Tecnologías Educativas. Posee publicaciones en diversos congresos tanto nacionales como

internacionales y desarrollos de software. En la actualidad es Investigador asociado del Instituto Rosario de Investigaciones en Ciencias de la Educación (IRICE: CONICET-UNR).  
ORCID: 0000-0001-7112-5116

**P.S. San Martín**, es Dra. en Humanidades y Artes por la Universidad Nacional de Rosario, Argentina. Miembro de la Carrera de Investigador Científico y Tecnológico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET, Argentina), categoría Independiente. Vicedirectora del Instituto Rosario de Investigaciones en Ciencias de la Educación (IRICE:CONICET-UNR). Profesora Titular ordinaria de la Facultad de Humanidades y Artes, Universidad Nacional de Rosario (UNR). Docente- Investigadora categoría I (UNR). Su especialidad de Investigación, Desarrollo e Innovación se centra en las Tecnologías de la Información y Comunicación aplicadas a Educación. Ha dictado cursos de Posgrado en distintas universidades del país. Posee numerosas publicaciones nacionales e internacionales, premios y distinciones por su labor. Ha dirigido Programas, Proyectos y Tesis doctorales, investigadores, becarios doctorales y posdoctorales donde se fue construyendo el marco teórico-metodológico sobre los Dispositivos Hipermediales Dinámicos para investigación, educación y ciudadanía.  
ORCID: 0000-0001-7543-045X



# Construcción de la competencia investigativa en ingeniería

José Eucario Parra-Castrillón

Facultad de Ingeniería, UNISABANETA, Medellín, Colombia. [Eucarioparra5@gmail.com](mailto:Eucarioparra5@gmail.com)

**Resumen**— Un reto para las universidades es el relacionado con la construcción de la competencia investigativa en los estudiantes. Esto es, como llevar a que ellos participen en los proyectos y procesos de investigación, con compromiso y apasionamiento. Además, como lograr que la competencia investigativa haga parte del perfil profesional de los egresados. En el caso de la ingeniería, dos aspectos pueden considerarse como oportunidades: el primero, desde los primeros niveles los estudiantes están interactuando con la experimentación, las matemáticas y la modelación de fenómenos naturales. El segundo, por su naturaleza el perfil de los ingenieros está relacionado con la innovación y el desarrollo tecnológico, lo cual demanda actitudes, actuaciones y conocimientos en la investigación formativa.

Pensando en lo anterior se proponen en este trabajo un modelo para la formación de la competencia investigativa, que incluye seis elementos de competencias, desglosados cada uno comportamientos esenciales y unos lineamientos pedagógicos y curriculares.

**Palabras Clave**— competencia; competencia investigativa; currículo; elementos de competencia; investigación en ingeniería; investigación formativa; formación investigativa, pedagogía.

Recibido para revisar Mayo 25 de 2017, aceptado Agosto 9 de 2017, versión final Agosto 30 de 2017

## Construction of the research skill in engineering

**Abstract**— A challenge for universities is related to the construction of investigative skill in students. This is how to get them involved in the research projects and processes, with commitment and passion. In addition, how to make the investigative skill part of the professional profile of graduates. In the case of engineering, two aspects can be considered as opportunities: first, from the first levels students are interacting with experimentation, mathematics and the modeling of natural phenomena. The second, by its nature the profile of the engineers is related to innovation and technological development, which demands attitudes, actions and knowledge in the formative research.

Thinking about the above, we propose in this work a model for the formation of investigative competence, which includes six elements of competences, each broken down into essential behaviors and pedagogical and curricular guidelines.

**Keywords**— curriculum; elements of competence; engineering research; formative research; research skill; research training; pedagogy; skill.

## 1. Introducción

El tema de las competencias investigativas es de marcado interés en la formación universitaria, ya que cada vez con mayor insistencia los sistemas de calidad exigen evidencias sobre proyectos, investigadores, divulgación e impacto en el medio, al considerarse que junto con la docencia y proyección social, la investigación es una función básica de las instituciones de educación superior. Siendo así, las estrategias para la

investigación formativa deben considerarse ampliamente, pues desde ahí se va perfilando el ambiente que potencie a la institución en el desarrollo de la investigación.

Según Restrepo [1] “Hablar de investigación formativa es hablar de formación investigativa o del uso de la investigación para formar en la investigación, para aprender a investigar investigando, aunque esta actividad no conduzca necesariamente a descubrimiento de conocimiento nuevo y universal”. Es decir, el objetivo de la formación investigativa es la formación de la competencia investigativa. Para cumplirlo en los ambientes formativos se interrelacionan el método científico y el método activo de aprendizaje, lo que determina la formación de actitudes y habilidades para la indagación continua y sistemática de información [2].

La construcción de la competencia investigativa se genera a partir de la identificación de unos ámbitos fundamentales y que desde una concepción de integralidad pueden clasificarse en tres ámbitos: saber ser, saber conocer y saber hacer, con una interpretación holística y sistémica que los conjuga y no los admite de manera separada.

Agréguese a lo anterior que las actividades formativas se disuelven si se emprenden de manera aislada, pues el dinamismo investigativo no lo permite. En contraposición, los propósitos para la formación investigativa deben encuadrarse dentro de estrategias que consideren el currículo en su concepción compleja de procesos formativos (no como plan de estudios) y la propuesta pedagógica centrada en la alta motivación de los estudiantes.

En el caso especial de la ingeniería, un factor de especial importancia para el aprovechamiento pedagógico hacia la construcción de la competencia investigativa, es la proximidad que desde el principio tienen los estudiantes a la representación simbólica y matemática de los fenómenos y las cosas, además de las oportunidades para la experimentación que se presentan desde los primeros niveles de los planes de estudio. Además, “La concepción del ingeniero del siglo XXI representa un cambio de paradigma. El ingeniero de hoy debe ser partícipe de su propia creación; no debe buscar trabajo, sino crearlo; debe poseer una formación integral, de clase mundial, con una perspectiva y visión amplias de las realidades nacionales y mundiales; líder, de espíritu emprendedor, capaz de trabajar en equipo y sobre todo comprometido con su entorno social...” (Capote, Rizo y Bravo, 2016). Desde esta concepción de

ingeniero, un reto para las instituciones es la creación de ambientes educativos para la formación con criterios sistémicos, donde la competencia del estudiante se vaya perfilando holísticamente desde la conjugación de experiencias investigativas y encuentros pedagógicos. Si se tiene en cuenta el anterior marco de conceptos, no hay duda que un propósito fundamental de los procesos curriculares de ingeniería, debe ser que la competencia investigativa haga parte del perfil profesional de los ingenieros, para su exhibición proactiva en sus entornos de trabajo.

Relacionado con las características del ingeniero del Siglo XXI está el propósito de formación para la innovación, cuya presencia es trascendental en las aspiraciones de competitividad y sostenibilidad empresarial. Más aun, el componente tecnológico y por eso el rol de los ingenieros, es inseparable de las iniciativas de innovación y es intrínsecamente importante por su incidencia directa en la productividad y estructura de las empresas y porque hace parte de la estrategia para lograr ventaja competitiva. Adicionalmente, la intensidad del progreso científico y tecnológico es una característica especial del desarrollo socio-económico de las naciones [3]. Recogiendo estos conceptos, es imperativo para los procesos curriculares de las facultades de ingeniería, formar profesionales que “se interesen por aprender por su propia cuenta, que adviertan la importancia de actualizarse constantemente y que sepan seleccionar e integrar el conocimiento más apropiado para el contexto en el cual desarrollan sus labores” Hernández [4].

Para comprender el concepto de competencias investigativas es menester considerar el de competencias. Los referentes al respecto son abundantes desde ángulos distintos, debido a las preocupaciones por renovaciones curriculares que atiendan realmente a los cambios sociales. En general, se han considerado dos acepciones sobre competencias, una empresarial y la otra académica. La primera enfocada hacia el tecnicismo mínimo para la producción, encaminada a definir exactamente las funciones y desempeños para el trabajo y a fijar criterios exactos para evaluar a los trabajadores. La segunda preocupada por los comportamientos que demuestran formación integral, con un abordaje más próximo a la formación integral, que lo mínimo, suficiente y necesario para el desempeño industrial. Estas competencias se han entendido de la siguiente forma:

Con un abordaje más próximo a la formación integral, que lo mínimo, suficiente y necesario para el desempeño industrial, se han entendido las competencias de la siguiente forma:

“procesos complejos que las personas ponen en acción-actuación-creación, para resolver problemas y realizar actividades (de la vida cotidiana y del contexto laboral-profesional), aportando a la construcción y transformación de la realidad, para lo cual integran el saber ser (automotivación, iniciativa y trabajo colaborativo con otros), el saber conocer (observar, explicar, comprender y analizar) y el saber hacer (desempeño basado en procedimientos y estrategias) [5]. Más concretamente, las competencias se entienden como “actuaciones integrales para identificar, interpretar, argumentar, y revolver problemas del contexto con idoneidad y ética, integrando el saber ser, el saber hacer y el saber conocer [6].

La definición de competencias así expresadas, ha dado origen a interpretaciones que ciertamente plantean la dificultad

antropológica de fraccionar puntualmente en tres dimensiones los comportamientos humanos en un desempeño concreto (ser, conocer, hacer), sin embargo la postulación de tal modelo de competencias considera el criterio holístico y complejo de las actuaciones a partir de la integralidad de la persona. La división que conforma en esa triada, es solo una forma de organización de curricular.

Dentro de ese modelo trídico (ser, hacer, conocer) puede considerarse que la competencia investigativa es un entretendido de ámbitos actitudinales, procedimentales y conceptuales. Además, se desprende también de los conceptos de Tobón y Briascos, que las competencias son manifestaciones en la acción (en el modo de interpretar las cosas y proceder en tal sentido), bajo la consideración de contextos con sus grados de imprecisión. De esta forma la competencia investigativa se forma y se manifiesta desde la actividad organizada para la indagación y el análisis de los hallazgos, donde se integran las actitudes (el espíritu investigativo), los conocimientos sobre metodología de la investigación y los procedimientos, o sea la forma como el investigador hace sus investigaciones.

Para efectos de la planeación curricular de las competencias, el modelo funcional de Tobón [5,7] incluye: descripción de la competencia, elementos de la competencia (“desempeños específicos que componen la competencia identificada”), criterios de desempeño (“son los resultados que una persona debe demostrar en situaciones reales del trabajo, del ejercicio profesional o de la vida social”), saberes esenciales (“saberes requeridos para que la persona pueda lograr los resultados.... Se clasifican en saber ser, saber conocer y saber hacer”), rango de aplicación, evidencias requeridas, problemas y casos e incertidumbres.

En el tema concreto de las competencias investigativas, estas se definen en términos de gestión del conocimiento y generación de nuevo conocimiento [8]. Se plantea que la competencia se demuestra con la utilización de las TIC – Tecnologías de la Información y la Comunicación – para hacer registro de la práctica investigativa y de su contexto (capacidad para buscar, ordenar, filtrar y analizar información).

En [9] las competencias investigativas se explican de acuerdo con tres grupos: competencias del saber (cognoscitivas) como diferencias entre población y muestra, conocimientos sobre formulación de hipótesis o establecimiento de diferencias entre métodos cualitativos y cuantitativos. En un segundo grupo están las competencias del hacer como la habilidad para la delimitación del tema de investigación, la capacidad para formular acertadamente objetivos de investigación o la destreza para construir un estado del arte. En el último grupo ubica las competencias del ser, expresadas en actitudes personales como la capacidad para la crítica y la autocrítica o la habilidad para trabajar en equipos interdisciplinarios.

En [10] se hace una taxonomía similar a la anterior. Pero en el grupo de competencias del saber hacer hacen referencia a destrezas, capacidades o habilidades en tres subgrupos: capacidades cognoscitivas como el manejo crítico de la bibliografía; las destrezas motrices como la intervención con prolijidad y minuciosidad; y habilidades de comunicación como el diseño de la comunicación en ponencias o posters.

En un estado del arte sobre formación investigativa, se concluyó que las competencias investigativas encierran un conjunto de habilidades que debe tener todo investigador tales como “el pensamiento crítico, la problematización, comunicación oral y escrita, análisis, abstracción o síntesis” [11]. Se agrega que son “competencias de alto grado de complejidad por su objeto de aprendizaje y acción”.

De otra forma, [12], define las competencias investigativas como procesos complejos que integran aprendizajes en el saber ser, saber conocer, saber hacer y saber convivir para abordar integralmente problemáticas desde lo ético y creativo, con pensamiento lógico, crítico y reflexivo frente a entorno.

Dentro del marco de los referentes anteriores, se propone en este artículo la siguiente definición de competencia investigativa: es la integración de conceptos, actitudes y procedimientos que demuestra un investigador en la planeación, desarrollo y divulgación de iniciativas para la generación y gestión de nuevo conocimiento. Esta definición que se propone considera fundamentalmente que el investigador en sus actividades demuestra conocimientos sobre metodología y sobre gestión de la información, conoce técnicas para tratamiento de datos y sabe cuál es la lógica del proceso investigativo; asimismo, demuestra predisposición, convicción, motivación y decisión personal para emprender las investigaciones. Pero no es suficiente con estos dos elementos, además organiza las secuencias acertadamente, procede con orden e iniciativa durante las etapas del proceso investigativo, sabe cómo encuadrar los informes y gestionar los recursos. Estos tres elementos los pone en acción holísticamente, como un todo, para lograr el fin de consecución de nuevo conocimiento. Dicho de otro modo, el investigador pone en escena el saber sobre el proceso investigativo sumando a su pasión por investigar y la coherencia con la que procede en sus investigaciones. Queda claro también en la definición propuesta que el ciclo de vida de las investigaciones inicia con la planeación, sigue con la administración y control de las etapas planeadas y termina con la divulgación y socialización del nuevo conocimiento. En estas tres fases entre en juego la competencia investigativa, con su carácter holístico y complejo.

La construcción de las competencias investigativas en ingeniería no es un asunto puntual que pueda considerarse independientemente. Por el contrario, su complejidad invita a que los análisis se tanguen que hacer en consideración de tres direcciones: los procesos curriculares, la propuesta pedagógica y la gestión del conocimiento. Por eso es menester enfocar a continuación estos tres conceptos.

En relación con lo anterior, un primer concepto importante es el de currículo. Al respecto, en una conceptualización funcional, [13] plantea que el currículo se refiere a las siguientes preguntas ¿Para qué enseñar? (Propósitos educativos), ¿Qué enseñar? (Contenidos), ¿Cuándo enseñarlo? (Secuenciación), ¿Cómo enseñarlo? (Metodología), ¿Con qué enseñarlo? (Recursos), ¿Se cumplió o se está cumpliendo? (Evaluación). Relevancia especial se le da a la primera pregunta, al relacionarla directamente “con la finalidad, el propósito y el sentido de la educación”. Según lo anterior, es claro que el plan de estudio u organización de los contenidos es solo un componente del currículo.

Desde otro punto de vista, se dice que “el currículo asumido como plan de estudios, como conjunto de conocimientos o materias a superar por el alumno dentro de un ciclo, nivel educativo o modalidad de enseñanza, es la acepción más tradicional conocida. Además, es la más utilizada en los modelos formativos cuya esencia se basa en los procesos de transmisión, procesos en donde los límites están preestablecidos, los propósitos a lograr están predeterminados, las prácticas están definidas, lo que permite dar lugar a una situación de inercia académica, que hoy es prevaleciente en muchas realidades educativas” [14]. A propósito de estas dos definiciones, vale decir que uno de los obstáculos en las reformas curriculares en las áreas de matemáticas, ciencias naturales e ingeniería y afines, es que la concepción de currículo se dirige solo a la organización del plan de contenidos (pensum), lo que lleva, por ejemplo, a que se desconozcan conexiones potenciales y reales entre prácticas pedagógicas, recursos, propósitos generales y tipología de estudiantes.

En una definición más compleja, [15] considera el currículo con dos componentes: unos principios antropológicos, axiológicos, formativos, científicos, epistemológicos, metodológicos, sociológicos, psicopedagógicos, didácticos, administrativos y evaluativos y por otra parte, los medios inspirados desde estos principios para alcanzar para los procesos y propósitos de formación integral de los estudiantes y que incluyen entre otros, la organización escolar, los planes de estudio, los contenidos de la enseñanza, las estrategias didácticas y metodológicas, los espacios y tiempos para la formación multidimensional, los proyectos, los criterios e indicadores evaluativos y “ los agentes educativos que intervienen, los contextos situacionales exógenos y endógenos; los recursos locativos, instrumentales, materiales y de apoyo docente”. Al segundo componente le agrega los procesos de rediseño para conseguir que con tales medios si se permitan los principios planteados. Esta definición conduce a decir que las reformas curriculares deben convocar a análisis desde la integralidad institucional desvirtuando el fraccionamiento entre el interés administrativo-financiero y el académico. En realidad, los diagnósticos y determinaciones deben considerar el currículo con visión sistémica, teniendo en cuenta que las interrelaciones de los procesos deben apuntar a los principios del proyecto educativo.

Como puede concluirse, el currículo encierra cierta totalidad educativa y esto posiblemente desprenda preocupaciones en el momento de su construcción. “¿Cómo establecer un concepto que ya casi no tiene límites en su definición? Si decimos que el campo curricular es un campo de discursos y prácticas que toman por objeto el currículo, ¿qué vamos a entender por currículo?” [14].

Otro concepto que se considera en la propuesta de competencia investigativa es el de los modelos pedagógicos, entendidos como las dinámicas que resuelven las preguntas relacionadas con el para qué, el cuándo y el con qué, en coherencia con el tipo de hombre que se quiere formar y de la concepción de sociedad que se quiera tejer [13]. Además, según [17], un modelo pedagógico es una guía para la acción educativa institucional, que centra sus intencionalidades en los intereses y necesidades de los estudiantes. De acuerdo con lo anterior, el modelo debe responder a las necesidades de

aprendizaje con pertinencia y relevancia. Agréguese que “los modelos pedagógicos se construyen o se implementan para direccionar la educación, tener un soporte teórico les permitirá encauzar el desarrollo del proceso enseñanza –aprendizaje” [18].

La competencia investigativa encierra también la gestión del conocimiento. En relación con este concepto, para el análisis se toma como referencia el modelo KMAT de Andersen con sus funciones básicas de crear, identificar, capturar, adaptar, organizar, aplicar y compartir el conocimiento [19]. En general puede decirse que la gestión del conocimiento es el conjunto de procesos organizacionales para valorar y sistematizar la información generada por las personas. Es de aclarar que, aunque los conceptos y modelos sobre gestión del conocimiento pertenecen a ámbitos empresariales, se pueden extrapolar a la gestión de la investigación en las universidades, si se entiende esta como una organización de proyectos, investigadores, asesores y profesores. En [20] se hace una descripción acerca de la concepción y aplicación del modelo KMAT en el caso concreto de una organización.

Para terminar los antecedentes a la propuesta, se hace una diferencia entre objeto de investigación y objeto de estudio. En [21] se plantea que un objeto de investigación es un “Constructo formal que expresa ámbitos y exigencias cognoscitivas y que media en la relación de conocimiento teorizante entre el sujeto cognoscente y el de los objetos reales” y el objeto de estudio se define allí mismo como “Cosa o fenómeno al que se enfoca el proceso de investigación, respecto del cual se formula la tesis y sobre el cual se habrán de demostrar y sostener los resultados”.

Es decir, el objeto de la investigación formaliza la relación entre el sujeto investigador y lo que se está investigando. Dicha relación expresa explícitamente los intereses del sujeto investigador para conocer ese mundo. La formalización hace referencia a la organización y planeación de los procesos de indagación y a la definición de los aspectos teóricos, contextuales y metodológicos. De acuerdo con esto, el objeto de investigación se va tejiendo con construcciones documentales incrementales como la propuesta, el anteproyecto o el informe final de resultados.

A su vez, el objeto de estudio está constituido por el foco hacia el cual se concentra la mira del investigador. Son los atributos del evento, fenómeno, cosa, que se quiere conocer. En términos más generales, es la realidad que se quiere indagar. En este sentido la delimitación de ese objeto resulta crucial para el proyecto, ya que si hay imprecisiones lo más probable es que no se tenga un buen final. En atención a esto, el equipo de investigación debe hacer el máximo esfuerzo para declarar las restricciones del objeto de estudio, acordar los aspectos que concretamente interesan, evitar vaguedades en la demarcación de la entidad que motiva la investigación. Tomando como referencia lo anterior, se concluye que la competencia investigativa involucra la integralidad de actitudes, conocimientos y procedimientos en relación con los dos constructos: el objeto de investigación y el objeto de estudio.

Como puede deducirse, la competencia investigativa involucra la integralidad de actitudes, conocimientos y procedimientos en relación con los dos constructos: el objeto de investigación y el objeto de estudio. El propósito fundamental

de los procesos curriculares de ingeniería, debe ser que la competencia investigativa haga parte del perfil profesional de los ingenieros, para su exhibición proactiva en sus entornos de trabajo.

## 2. Modelo para la formación de competencia investigativa

Teniendo en cuenta los fundamentos anteriores sobre competencias desde su enfoque holístico en la triada ser, hace y conocer; competencia investigativa, currículo en la concepción de complejidad de Iafranceso [15], pedagogía (en consideración del tipo de hombre y sociedad que se quieren formar) y gestión del conocimiento desde los fundamentos del modelo KMAT, la propuesta para la formación de investigadores en las universidades se percibe dentro de un marco complejo, en vez de un listado de propósitos y acciones puntuales. De conformidad con esto, la propuesta incluye los siguientes aspectos: la definición de la competencia investigativa y unos lineamientos relacionados con la institucionalidad curricular y la propuesta pedagógica. El modelo que se presenta en este artículo tiene una estructura así:

Tabla 1  
Resumen del modelo propuesto

<b>COMPETENCIA INVESTIGATIVA</b>	
Demostración de idoneidad en la integración de conceptos, actitudes y procedimientos para la planeación, desarrollo y divulgación de iniciativas conducentes a la generación y gestión de nuevo conocimiento en ingeniería.	
<b>PROPOSITO FUNDAMENTAL</b>	
Que la competencia investigativa haga parte del perfil profesional de los ingenieros.	
<b>ELEMENTOS DE LA COMPETENCIA INVESTIGATIVA</b>	
No 1. Actuación con ética, responsabilidad con el conocimiento, respeto y conservación de principios morales.	No 4. Escritura de la investigación de acuerdo a normas establecidas por la comunidad académica y científica de ingeniería.
No 2. Conocimiento de la estructura y las interrelaciones de información de un proyecto de investigación.	No 5. Construcción de objetos de investigación considerando holísticamente problemáticas de ingeniería, fundamentación teórica y rutas metodológicas.
No 3. Desarrollo de procesos de indagación aplicando conceptos de gestión del conocimiento.	No 6. Comunicación de los asuntos relacionados con la investigación.
<b>LINEAMIENTOS PARA LA FORMACIÓN DE LA COMPETENCIA INVESTIGATIVA</b>	
No 1: Interacción de los cursos de investigación del plan de estudios de ingeniería con el contexto institucional para la investigación.	
No 2: la propuesta pedagógica para la investigación formativa parte del precepto de aprender a investigar investigando.	
No 3: Enfoque sistémico de los comportamientos esenciales del saber ser, el saber hacer y el saber conocer integrados en el currículo de ingeniería.	
No 4: Estímulos para la investigación conectados con intereses reales de los estudiantes.	
No 5: Destinación directa de recursos y definición de estrategias específicas para la formación investigativa.	
No 6: Aprovechamiento de la oportunidad curricular de ingeniería para la modelación matemática y la experimentación.	
No 7: Promoción de la transversalidad curricular para la formación investigativa integrando procesos en todos los niveles del plan de estudios de ingeniería.	

Fuente: elaboración propia del autor

- Una competencia investigativa desglosada en seis elementos de competencias.
  - Cada elemento de competencia integrado por comportamientos esenciales: saber ser (exhibición de actitudes), saber hacer (exhibición de procedimientos) o saber conocer (exhibición de conceptos). Cada elemento considera de estos, cuales son los dominantes, no necesariamente los tres. Es decir, el elemento de competencia se enfatiza en uno o varios comportamientos esenciales.
  - Un propósito fundamental
  - Siete lineamientos para la construcción de la competencia investigativa en ingeniería.
- Esquemáticamente el modelo se muestra en la Tabla 1.

### 2.1. Competencias investigativas y sus elementos

La competencia investigativa que demuestra el estudiante o el egresado de la facultad de ingeniería es la siguiente:

Demuestra idoneidad en la integralidad de conceptos, actitudes y procedimientos en la planeación, desarrollo y divulgación de iniciativas para la generación y gestión de nuevo conocimiento.

Elemento de competencia No 1: asume los procesos investigativos con criterios de ética, responsabilidad con el conocimiento, respeto y conservación de principios morales.

Comportamientos esperados en el ámbito esencial del saber ser:

- 1) Demuestra tolerancia ante las críticas y sugerencias de los demás. Acepta insuficiencia o limitaciones de sus conocimientos, razonamientos, análisis o argumentaciones y trabaja en equipos con sentido colaborativo.
- 2) Obtiene información y genera conocimiento con criterios de honradez y respeto por los seres vivos y los tejidos culturales, axiológicos y sociales. Asimismo, respeta la producción intelectual y científica ajena, evitando violar derechos de autoría.
- 3) Demuestra iniciativa propia para la indagación continua sobre problemas, soluciones, modelos o innovaciones en el campo de la ingeniería y con autonomía emprende indagaciones y explora conocimientos.

Elemento de la competencia No 2. Conoce la estructura y las interrelaciones de información de un proyecto de investigación.

Comportamientos esperados en el ámbito esencial del saber conocer:

- 1) Distingue técnicas, instrumentos y estrategias para obtener información, en coherencia con los objetivos e hipótesis o supuesto de proyectos de investigación.
- 2) Define criterios para la organización, sistematización, análisis e interpretación de la información obtenida en los procesos de indagación.
- 3) Comprende las concepciones de los distintos tipos de investigación y sus propósitos, para elección de las formas de acceso a la información y la organización e interpretación de los hallazgos.

Elemento de la competencia No 3. Realiza procesos de indagación de manera planeada, aplicando conceptos de gestión del conocimiento para la búsqueda, almacenamiento,

transferencia, transformación, creación, organización y compartimiento de la información.

Comportamientos esperados en los ámbitos esenciales del saber hacer y el saber conocer.

- 1) Define con precisión el alcance del objeto de estudio del proyecto, para establecer rutas y métodos de acceso a las fuentes de información e indagación.
- 2) Realiza indagaciones de manera organizada e identificando los asuntos fundamentales para el logro de los objetivos del proyecto y establece criterios de búsqueda, evaluación y selección de la información y hace análisis e interpretaciones dentro de marcos de conceptualización adecuados
- 3) Utiliza las TIC y Crea modelos, estructuras y herramientas lógicas en procesos de búsqueda, almacenamiento, transferencia, transformación, creación, organización y compartimiento de información.

Elemento de la competencia No 4. Elabora documentos sobre planeación de proyectos de investigación e informes, formalizando la escritura de acuerdo con normas establecidas por la comunidad académica y científica de ingeniería.

Comportamientos esperados en el ámbito esencial del saber hacer:

- 1) Construye documentos aplicando normas de estandarización para la citación, referenciación y organización de contenidos, con criterios de orden y estética.
- 2) Construye documentos de acuerdo con las reglas del idioma sobre gramática, sintaxis y semántica del idioma. Con criterios de coherencia de los contenidos.

Elemento de la competencia No 5. Construye objetos de investigación considerando holísticamente situaciones problemáticas de ingeniería, fundamentos teóricos y estrategias metodológicas para la gestión del conocimiento.

Comportamientos esperados en el ámbito esencial del saber hacer.

- 1) Define situaciones problemáticas que conducen a la planeación y desarrollo de proyectos de investigación y relaciona la planeación de actividades con los objetivos formulados para los hallazgos y resultados del proyecto.
- 2) Identifica referentes teóricos y estado del arte para la fundamentación conceptual y contextual del proyecto de investigación, considerando autenticidad, validez, confiabilidad y alcance de las técnicas y las fuentes de investigación y coherencia con los objetivos del proyecto.
- 3) Diseña la ruta metodológica del proyecto en coherencia con los plazos, recursos, objetivos, alcances y define criterios, unidades de análisis, categorías o variables para el análisis e interpretación de la información.

Elemento de competencia No 6. Comunica los asuntos relacionados con la investigación, con criterios de claridad, organización, estética, suficiencia y procurando respeto por las personas, las comunidades y las instituciones.

Comportamientos esperados en los ámbitos esenciales del saber hacer y el saber ser.

- 1) Expone ideas en forma oral y de manera ordenada, con capacidad de síntesis, entonación suficiente, con argumentaciones precisas y considerando respeto por las personas, las instituciones y la sociedad.

- 2) Define los criterios y canales para comunicar y transferir los resultados y hallazgos de las investigaciones y utiliza recursos de TIC para comunicación y procesamiento de información relacionada con el proceso investigativo.
- 3) Maneja recursos para comunicar ideas sobre el proceso investigativo utilizando lenguajes diferentes al español.

En la definición de estas competencias se ha hecho una adaptación del modelo funcional definido en [5,12]. Seguirlo con exactitud implicaría definir competencias, luego desglosar cada una en elementos de competencia, a continuación, asignarle a cada elemento un saber para el ser, otro para el conocer y un tercero para el hacer y además asignar criterios de desempeño. En el caso de las competencias investigativas tal segregación es inviable porque la competencia investigativa es compleja, aparece como una yuxtaposición de criterios y se demuestra con una transposición de actividades realizadas. Con esto en mente lo que se ha recogido de Tobón es definir elementos de competencia y a cada una, definirle según su naturaleza uno o varios énfasis enmarcados en los ámbitos esenciales saber ser, saber conocer o saber hacer.

## 2.2. Formación de la competencia investigativa

El desarrollo de los seis elementos de competencia es complejo debido a la multidimensionalidad de los procesos implicados y a la interactividad de los elementos que intervienen. Además, que son procesos más difusos que formalmente acotados. Con esto en mente la propuesta para su desarrollo se integra con unos lineamientos que encierran intencionalidades curriculares y pedagógicas.

- 1) Primer lineamiento: sobre los cursos de investigación en el plan de estudios de ingeniería.

La importancia de los cursos de asignaturas de investigación formativa (como Metodología de la Investigación) no está dentro de su ubicación en un plan de estudios de los programas de ingeniería, sino en la forma como ocurren sus interacciones con el currículo institucional, entendido este como la yuxtaposición de distintos factores institucionales y del aula, que contribuyen a la formación del estudiante. Es decir, estos cursos son aportantes en asuntos puntuales de competencias para el saber conocer, pero son insípidos si no existen articulaciones con semilleros de investigación, grupos de estudio, convocatorias de proyectos para estudiantes, eventos de divulgación o revistas para las publicaciones de los estudiantes, entre otros factores. Así que tales cursos del plan de estudios, más que enfocados en la epistemología o en la conceptualización puntual del método y la ciencia, deben establecer vínculos vivenciales con el entorno investigativo de la institución, interno o externo. Por supuesto, tal estrategia no implica que tenga que evitarse la enseñanza de los temas concretos para las competencias del saber conocer.

- 2) Segundo lineamiento: sobre pedagogía para la investigación

La propuesta pedagógica para la investigación formativa parte del precepto de aprender a investigar investigando. Es decir, las competencias del ser, hacer y el conocer se forma más decididamente desde la vivencia del estudiante. En este sentido cobra vigencia la incorporación de metodologías como Aprendizaje Basado en Problemas o Aprendizaje Basado en Proyectos, que son de fácil aplicación en ingeniería. Además, en

los semilleros de investigación o los grupos de estudio debe partirse de fomentar el aprendizaje desde la formulación y desarrollo de proyectos. Hay que mencionar además otras estrategias como los proyectos de aula, los proyectos integradores, los proyectos de grado o los proyectos para participar en convocatorias externas o internas para estudiantes. Pero hay que llamar la atención en algo: se debe promocionar el aprendizaje y la motivación del estudiante siendo racionales con los niveles de exigencia y, sobre todo, con la pedagogía suficiente de profesores y asesores para llevar de la mano al estudiante. En síntesis, la propuesta pedagógica para la investigación formativa debe enfocarse en la alta motivación de los estudiantes y en su aprendizaje incremental desde su participación en proyectos de investigación. Tanto en la formación profesional como en los postgrados debiera de considerarse esta esencia pedagógica.

- 3) Tercer lineamiento: sobre la complejidad de los comportamientos esenciales

La competencia investigativa se construye desde la identificación de competencias específicas enmarcadas en comportamientos esenciales del saber ser, el saber hacer y el saber conocer. Pero, aunque en su enunciado figuran separadas, en la realidad tal segregación no es posible. Esto porque al ser la actividad investigativa una conjugación de técnicas, argumentaciones, conocimientos, normas, convivencias y comunicaciones, se concibe como una integralidad de emociones, prácticas y conocimientos. Por eso esta clasificación está pensada desde un enfoque sistémico, y desde ahí puede decirse que ninguna de los tres componentes puede formarse sin la aparición de las otras dos. Por eso los profesores y asesores tienen el compromiso de orientar a sus estudiantes en consideración de los tres, pero integradas (no importa el nivel, esto aplica tanto en la formación profesional como los postgrados). A manera de ejemplo, el tema de referenciación bibliográfica encierra asuntos de ética, respeto, conocimiento de normas técnicas y realización organizada de listas de fuentes citadas. Una oportunidad es que específicamente en ingeniería las temáticas en buena medida permiten abordajes integrados en la triada ser, conocer, hacer.

- 4) Cuarto lineamiento sobre los estímulos para los estudiantes

Los estímulos para los estudiantes deben evidenciarse en realidades vivas para ellos como los estipendios, becas, publicación de artículos, programación de ponencias, patrocinios para participar en redes, viajes, pasantías o premios. Es más, el estímulo debe estar conectado con los intereses reales de los estudiantes. En parte, acá entra en juego el currículo institucional, ya que desde sus procesos debe prepararse el entorno favorable por ejemplo para eventos y convocatorias de estudiantes. Además de lo anterior, los profesores investigadores son estimuladores directos o indirectos para los estudiantes. En general un currículo institucional para la investigación representada en procesos, escenarios, grupos, directrices, entre otras cosas, resulta altamente estimulante para el estudiante investigador.

- 5) Quinto lineamiento: sobre la asignación de recursos especiales

Tanto la investigación formativa como la formación para la investigación requieren destinación directa de recursos y definición de estrategias específicas. Por ejemplo, la asignación

de docencia para los semilleros de investigación y grupos de interés, la programación de talleres intensivos (workshop), la obligatoriedad de incluir estudiantes en los proyectos de investigación, la destinación de espacios físicos para los estudiantes investigadores o la homologación de asignaturas del plan de estudios con actividades investigativas de los estudiantes, pueden ser opciones a considerar dentro de otras posibles.

#### 6) Sexto lineamiento: sobre la modelación matemática y la experimentación

En el currículo de ingeniería se presenta una oportunidad relevante. Es la relacionada con la presencia de la modelación matemática y la experimentación. Estos factores pueden incidir positivamente debido al acercamiento que desde los primeros años de universidad tienen los estudiantes a la representación abstracta de los fenómenos, la utilización de simbolismos para representar la información, el rigor conceptual de las ciencias o las simulaciones en los laboratorios. Considerando lo anterior, si se establecen sinergias entre las acciones formativas de las asignaturas del plan de estudio de ingeniería con procesos y estrategias para la investigación formativa y la formación para la investigación, entonces se pueden alcanzar logros relacionados con la competencia investigativa. En este sentido, la modelación matemática es una oportunidad para que los profesores desde las clases vinculen a sus estudiantes con situaciones problemáticas que inciten en ellos preocupación por la indagación y la investigación.

#### 7) Séptimo lineamiento: sobre la transversalidad formativa

En general, la competencia investigativa es un constructo transversal del currículo de Ingeniería. Esto significa que para apuntar hacia allá todos los procesos curriculares deben tener la preocupación por motivar la indagación en los estudiantes. En efecto, los propósitos que apuntan a estimular la imaginación de los estudiantes deben planearse tanto dentro de las asignaturas del plan de estudios así como en las actividades generales que para tal fin emprenda la institución. Además, debe comprenderse que la competencia investigativa la manifiesta el estudiante tanto en su quehacer académico como más adelante en su actividad profesional de Ingeniería. Visto de otra forma, un propósito general debe ser la planeación de la formación de la competencia investigativa como componente del perfil profesional general de los ingenieros, lo cual es posible si entran en juego las actividades pedagógicas en las clases con la naturaleza de las dinámicas y recursos institucionales

### 3. Conclusiones

Aunque es posible una disgregación de competencias específicas en clases para el saber ser, saber hacer y saber conocer, la construcción de la competencia investigativa en su globalidad implica propuestas pedagógicas que encierren la integralidad de estas desde una mirada sistémica. Es decir, pedagógicamente es inapropiado algún intento de enseñanza de un elemento de competencia en particular, si no se hacen conexiones con lo actitudinal, lo práctico y lo cognitivo. En el caso particular de la ingeniería, una oportunidad de enorme valor es los acercamientos que desde los primeros años tienen los estudiantes a la modelación de fenómenos y la representación matemática de la cotidianidad.

Además, sin la existencia de unos procesos curriculares favorables para la investigación formativa y sin oportunidades de estímulos reales para los estudiantes, es muy difícil que cualquier intento pedagógico tenga la trascendencia esperada. Es oportuno aclarar que, desde este ángulo se concibe el currículo a partir de su complejidad institucional, que se advierte como todo aquello que incide en la formación de los estudiantes. Una mirada del currículo como simple colección de asignaturas, contenidos y objetivos de aprendizaje, resultaría insuficiente.

Finalmente, ha de apreciarse que la competencia investigativa tiene su mayor evidencia en la alta motivación del investigador. En este sentido el reto para las universidades es como incentivar a los estudiantes de formación profesional y de postgrado para que vayan más allá del cumplimiento con los proyectos de investigación por un asunto meramente coyuntural, hasta llegar a ser investigadores reconocidos por los sistemas científicos nacionales e internacionales.

### Referencias

- [1] Restrepo, B., Formación investigativa e investigación formativa: Aceptaciones y operacionalización de esta última [en línea], 2004. Disponible en: <http://planmaestroinv.udistrital.edu.co/documentos/PMICI-UD/InvestigacionFormativa/>
- [2] Rodríguez, T., Rodríguez, A. y García, M., La investigación y su contribución formativa en estudiantes de las ciencias médicas, EDUMECENTRO, 8(1), pp. 43-158, 2016.
- [3] Águila, A. y Tolamatl, J., Análisis de la innovación, la tecnología, los recursos humanos y la infraestructura, como impulsores de la competitividad manufacturera del sector autopartes. México: Palibrio, 2016.
- [4] Hernández, G., Colmenares, J., Vargas, F., Larrahondo, J. y Guatame, P., Objetivos de los programas de formación en Ingeniería, En: Ciencia e ingeniería en la formación de ingenieros para el siglo XXI, Duque, M. Ed., Bogotá, ACOFI, pp. 59-82, 2008.
- [5] Tobón, S., Formación basada en competencias. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2005, 44 P.
- [6] Briasco, I., El desafío de emprender en el Siglo XXI. Madrid: Narcea Ediciones, 2014, 19 P.
- [7] Tobón, S., Formación basada en competencias. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2013.
- [8] Ministerio de Educación Nacional, Competencias TIC para el desarrollo profesional docente. Bogotá: Imprenta Nacional, 2013.
- [9] Pérez, M., Fortalecimiento de las competencias investigativas en el contexto de la educación superior en Colombia, Revista de Investigaciones UNAD Bogotá, 11(1), pp. 10-34, 2012. DOI: 10.22490/25391887.770.
- [10] Gayol, M., Montenegro, S., Tarrés, M. y D'Ottavio, A., Competencias investigativas. Su desarrollo en áreas de la salud, Uni-pluri/versidad, 8(2), pp. 1-8, 2008.
- [11] Rojas, C. y Aguirre, S., La formación investigativa en la educación superior en América Latina y el Caribe: Una aproximación a su estado del arte. Eleuthera, 12, pp. 197-222, de 2015. DOI: 10.17151/eleu.2015.12.11.
- [12] Tobón, S., La formación basada en competencias en la educación superior: El enfoque complejo. Guadalajara: Universidad Autónoma de Guadalajara, 2008.
- [13] De Zubiría, J., Los modelos pedagógicos: Hacia una pedagogía dialogante. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio: 2006.
- [14] López, N., La de-construcción curricular. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio, 2001.
- [15] Iafrancesco, G., Nuevos fundamentos para la transformación curricular. Bogotá: Cooperativa Editorial del Magisterio, 2005.

- [16] Díaz, M., La evaluación curricular en el marco de la evaluación de la calidad. *Contextos*, 4(14), pp. 19-30, 2015.
- [17] Ortiz, A., Reales, J. y Rubio, B., Ontología y epistemología de los modelos pedagógicos. *Revista Educación en Ingeniería*, 9(18), pp.23-34, 2014.
- [18] Martínez, N., Experiencias docentes en el aula a partir del modelo pedagógico de la Universidad de La Guajira programas de extensión Villanueva. *Escenarios*, 12(2), pp. 86-95, 2014. DOI: 10.15665/esc.v12i2.317
- [19] Freitas, V., Modelo holístico de sistema de gestión del conocimiento para las instituciones de educación superior. *Enl@ce: Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento*, 11(3), pp. 123-154, 2014.
- [20] Saryazdi, M. and Owlia, M., Analysis of knowledge management effectiveness on business excellence using system dynamica. *Production and Operations Management*, 5(1), pp. 41-55, 2014.
- [21] Ortiz, F., *Diccionario de metodología de la investigación científica*. México: Limusa, 2013.
- J.E. Parra-Castrillón**, es Ing. de Sistemas de la Universidad de Antioquia y Lic. en Matemáticas. MSc. en Software Libre, MSc. en Educación, Esp. en Docencia, Esp. en Pedagogía de la Virtualidad. Catedrático de la Universidad de Antioquia y del Politécnico Jaime Isaza Cadavid. Docente de tiempo completo de UNISABANETA. Desde 1993 ha desempeñado funciones de gestión académica, investigación y docencia en Instituciones de Educación Superior del Departamento de Antioquia.  
ORCID: 0000-0002-5623-7440



# Solución de problemas y percepción de la carrera en un curso de introducción a la ingeniería mecánica

Lesmes Antonio Corredor-Martínez <sup>a</sup> & Karla Judith De La Hoz-Del Villar <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ingeniería, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. lcorredo@uninorte.edu.co

<sup>b</sup> Centro para la Excelencia Docente Uninorte, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. kdelvillar@uninorte.edu.co

**Resumen**—Este artículo, basado en el capítulo “Introducción a la Ingeniería Mecánica: cómo llegan los de primer ingreso” del libro “Transformar para educar 5” de la Universidad del Norte, presenta una investigación realizada con el objetivo de conocer el pensamiento creativo y crítico para la solución de problemas, así como la percepción de los estudiantes de Introducción a la Ingeniería Mecánica hacia esta carrera. Se basa en una metodología mixta en la que aplicó protocolos de observación de clase, cuestionario sobre percepción y expectativas, se generaron problemas cotidianos para su debate y desarrollaron por grupos un proyecto de diseño. Finalmente, se concluye que los estudiantes plantean más soluciones innovadoras, detalladas y complejas ante situaciones que les resultan cotidianas; que las preguntas provocadoras les incita a cuestionar sus paradigmas y a construir posturas mejor argumentadas, y que la elección de carrera se debe a su afinidad con las matemáticas y a la percepción positiva que tienen de esta disciplina para resolver problemas globales.

**Palabras Clave**— Pensamiento crítico; pensamiento creativo; percepción de la carrera.

Recibido: 30 de mayo de 2017. Revisado: 22 de septiembre de 2017. Aceptado: 10 de octubre de 2017

## Problem solving and career perception in an introduction to mechanical engineering course

**Abstract**— This article, based on the chapter “Introducción a la Ingeniería Mecánica: cómo llegan los de primer ingreso” of the book Transformar para educar 5 of the Universidad del Norte, presents a study to know the creative and critical thinking for the solution of problems, as well as the perception of the students of Introduction to Mechanical Engineering towards this career. It is based on a mixed methodology in which it applied protocols of observation of class, questionnaire about perception and expectations, daily problems were generated for its debate and developed by groups a design project. Finally, it is concluded that the students pose more innovative, detailed and complex solutions to situations that are daily; That provocative questions incite them to question their paradigms and to construct better argued positions, and that the career choice is due to their affinity with mathematics and the positive perception they have of this discipline to solve global problems.

**Keywords**—Critical thinking; creative thinking; career perception.

## 1. Planteamiento del problema

La asignatura de Introducción a la Ingeniería Mecánica en la gran mayoría de las Universidades de primer nivel en el mundo, se convierte en un escenario en el que el estudiante tiene su primera experiencia de diseño en ingeniería, con una intensidad semanal no inferior a tres horas. Sin embargo, en la

Universidad del Norte la asignatura ha tenido una reducción en el tiempo que se le dedica, y se ha venido utilizando para informar a los estudiantes sobre generalidades de la universidad y del programa. Es por ello, que el docente con la intención de aprovechar al máximo las horas de clase, ha buscado despertar en el futuro ingeniero mecánico su interés por la disciplina y mostrarles su proyección hacia el mundo laboral y empresarial globalizado.

El intentar emular la práctica de esta asignatura en las universidades referentes en ingeniería a nivel global, obligó al docente a replantear el curso completamente. De esta forma, introdujo actividades orientadas a potenciar el pensamiento crítico y creativo, mediante el desarrollo de un proyecto a lo largo del curso, consistente éste en el diseño y construcción de un dispositivo innovador para la poda de árboles autóctonos. Esta es una orientación desde la síntesis que es la base del proceso de creación en ingeniería, de igual forma desde el análisis, se recurrió a la exploración y entendimiento del funcionamiento y aplicación de los conceptos de transformación de movimiento y energía impartidos con el apoyo de un perro mecánico el cual tiene gran parte de los componentes usados en las máquinas diseñados por los ingenieros mecánicos.

## 2. Revisión de la literatura

### 2.1. Sobre la creatividad

La creatividad es, según Guilford [1] una actividad intelectual que hace parte del pensamiento divergente, y se refiere al tipo de pensamiento que, frente a un problema específico permite formular distintas alternativas de solución. Este pensamiento es considerado por Franco, Butler, & Halpern [2] un recurso fundamental para la resolución de problemas de distinta naturaleza, debido a las competencias que lo integran y su relación con el desenvolvimiento exitoso en la cotidianidad.

Torrance [3], por su parte, definió la creatividad como un proceso en el que se revelan problemas, se formulan ideas, se establecen hipótesis, se experimentan y se encuentran resultados. Con base en los trabajos realizados por Guilford,

**Como citar este artículo:** Corredor-Martínez, L.A and De La Hoz-Del Villar, K.J., Solución de problemas y percepción de la carrera en un curso de introducción a la ingeniería mecánica. Educación en Ingeniería, 13(25), pp. 20-27, Febrero, 2018.

Torrance elaboró un test para medir la creatividad, que evalúa el pensamiento divergente para la solución de problemas teniendo en cuenta los siguientes componentes:

*Fluidez*, relacionado con el número de ideas que pueden generarse para resolver un mismo problema; *flexibilidad*, que se refiere a la posibilidad de hacer modificaciones para resolver un problema y sus variantes; *originalidad*, relacionado con el planteamiento de soluciones novedosas y poco comunes, y finalmente, la *elaboración* que tiene que ver con el grado de detalle y organización con el que se elabora y se piensa una idea creativa.

## **2.2. Sobre la estrategia de Ambientes de Aprendizaje Naturalmente críticos**

Los Ambientes de Aprendizaje Naturalmente Críticos son según Bain [4] entornos espontáneos que despiertan la atención de los estudiantes, suscitan espacios para la defensa de posturas y el análisis a partir de las evidencias.

En estos ambientes, el profesor realiza a los estudiantes preguntas intrigantes y provocadoras para que los estudiantes exploren hechos o fenómenos, realicen operaciones mentales como el análisis, la evaluación, la síntesis, la comparación y la aplicación a la vida real; apoya a los estudiantes para encontrar respuestas a las preguntas y les brinda herramientas para que puedan seguir aprendiendo de forma autónoma.

Por su parte, los estudiantes lanzan respuestas o juicios con la intención de probar, fallar y recibir retroalimentación por parte del profesor; se apoyan entre compañeros para resolver los problemas; reafirman sus formas de ver y entender el mundo, confían en sus posibilidades de aprendizaje y en la relevancia de sus trabajos.

Almeida y Franco [5] señalan dos componentes que constituyen el pensamiento crítico: competencias y disposiciones. Las primeras se refieren a los procesos de razonamiento verbal, búsqueda de evidencias, análisis de puntos de vista, argumentación de las creencias personales, diferenciación entre opiniones, hechos, planteamiento o validación de hipótesis, toma de decisiones y solución de situaciones problemáticas [6-8]. Las segundas, son las dimensiones que posibilitan o entorpecen la puesta en marcha de las competencias del pensamiento crítico, tales como el compromiso con el aprendizaje propio, el esfuerzo para comprender y adoptar puntos de vista diferentes, la apertura a la crítica y la retroalimentación, la disposición para la reflexión, la toma de decisiones y la solución de problemas que le permitan lograr lo que se ha propuesto [9,10]

Pensar críticamente implica la capacidad de buscar distintas fuentes de información, y valorar cuál de estas es la más válida y relevante para luego utilizarlas en la toma de decisiones para la solución de problemas de la mejor forma posible [11].

## **2.3. Investigaciones relacionadas**

Una investigación realizada por Godwin, Potvin, Hazari y Lock [12] con estudiantes de ingeniería matriculados en cursos introductorios, la cual tuvo como objetivo investigar cómo las identidades de los estudiantes relacionadas con la matemática y la física y sus creencias sobre el alcance de la ciencia para resolver problemas del mundo predicen la elección de la

ingeniería como carrera profesional, encontró que estas identidades tienen estrecha relación con la elección de la ingeniería y que el interés por temas relacionados con físicas y matemáticas son predictores de esta opción de carrera. Se encontró además que las creencias de los estudiantes sobre cómo será el rendimiento/competencia en esta carrera son negativas al ingresar, pero influyen en el interés y el reconocimiento de otros.

Dentro de las ideas concluyentes de esta investigación se destaca que para comprender la elección de carrera de los estudiantes es necesario tener en cuenta sus creencias afectivas y expectativas que lo motivan en su elección y que las identidades de los estudiantes relacionadas con los temas de físicas y matemáticas son el recurso que tienen antes de ingresar a estudiar estas carreras en la universidad, por lo que estas identidades son las que deben desarrollarse en los estudiantes antes de iniciar carrera en ingenierías, así como aquellos que ven aplicación práctica de la ingeniería para resolver problemas y mejorar el mundo, son más proclives a preferir la ingeniería como carrera profesional.

Otra investigación realizada por Ortiz, García, y Machín [13] tuvo como objetivo estimular la creatividad en estudiantes de un curso de Elementos de máquinas de la carrera de Ingeniería Mecánica a través de experiencias alternativas durante las clases tales como planteamiento de problemas, trabajos grupales y estrategias para generar ideas. Esta experiencia permitió motivar el estudio del curso e implicarse en el diseño de gran complejidad, así como conocer el estado de la creatividad de cada uno de los estudiantes en relación a cuatro indicadores (originalidad, fluidez, flexibilidad y elaboración) y reflexionar sobre las características de un ingeniero mecánico para gestar cambios desde su profesión, así como motivar el estudio del curso.

## **3. Diseño de la Investigación de aula**

### **3.1. Metodología**

La investigación se caracterizó por ser mixta. Se hizo uso de técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos tales como protocolos de observación desde el cualitativo y cuestionarios y rúbricas desde el cuantitativo, los cuales permitieron dar cuenta de cómo transcurren las experiencias de clase, las interrelaciones que allí se tejen, los cuestionamientos, las disyuntivas, los paradigmas que se construyen y se deconstruyen, así como explorar y evaluar en profundidad las variables del estudio [14].

### **3.2. Muestra**

La población con la que se trabajó estuvo conformada por 26 estudiantes de primer semestre del curso de Introducción a la Ingeniería Mecánica, de los cuales el 19% son mujeres y 81% son hombres con edades que oscilan entre los 16 y 19 años. De los estudiantes encuestados, sólo el 3.8% proviene de cambio de programa, el 23% estudia con apoyo de los padres de familia, otro 23% lo hace por medio de una beca y el 19% lo hacen a través de un crédito. La gran mayoría de este grupo de estudiantes proviene de colegios de estratificación media-alta.

#### 4. Descripción de la intervención

La experiencia investigativa realizada con 26 estudiantes del curso de Introducción a la Ingeniería Mecánica, estuvo orientada a explorar el pensamiento creativo y la percepción hacia la carrera de dichos estudiantes a través de la metodología de Ambientes de Aprendizaje Naturalmente Críticos desarrollada por Ken Bain, que consiste en la creación de espacios de aprendizaje que en sí mismo propicien el interés en los estudiantes para asumir puntos de vista, hacerse preguntas, explicar con argumentos, tomar decisiones y validar o refutar paradigmas para comprender fenómenos y resolver situaciones problema.

Las sesiones de clase desarrolladas con los estudiantes fueron de una hora semanal. En la primera sesión se les planteó una situación problema a la que se apuntaría cada una de las actividades que se realizarían desde la clase. Ésta fue el problema de cómo crear un instrumento que permitiera podar los árboles y que fuese de bajo costo, práctico y que no pusiera en riesgo la vida de quien hace uso de éste. En cada una de las sesiones siguientes se les planteaba a los estudiantes preguntas provocadoras que permitieran llevar a los estudiantes a descubrir todo lo que necesitarían saber para la construcción del instrumento, se les proponían situaciones problemas frente a las cuales debían plantear distintas alternativas de solución, hacer hipótesis, etc. A continuación, se detallan algunas de las sesiones de clase más relevantes:

*Sesión 1:* En esta primera sesión se trabajó la temática de las máquinas, los tipos de engranaje y las transformaciones de movimiento que hay en éstas, frente a los cuales los estudiantes plantearon y resolvieron preguntas con ayuda del docente tales como ¿Qué es una máquina? ¿Cómo funcionan las máquinas? ¿Cuáles son las características comunes entre las máquinas? ¿Dónde hay máquinas en la vida real? Asimismo, los estudiantes intervinieron haciendo comentarios de sus experiencias cercanas con máquinas de las que disponen en su casa tales como aires acondicionados, abanicos, televisores, etc. Al finalizar se le hizo un quiz de dos preguntas a los estudiantes sobre la temática que se había trabajado y se les propuso como actividad extracurricular revisar con detalle un ventilador y explorar su funcionamiento.

*Sesión 2:* Esta clase tuvo como objetivo analizar el movimiento a partir de un muñeco mecánico. Para ello, los estudiantes con un perro mecánico que llevaron por grupos, hallaron la potencia en vatios, descubrieron cuántas transformaciones del movimiento y los tipos de engranaje de esta pequeña máquina. Mientras los estudiantes trabajaban en grupo los problemas que se habían planteado entre todos, el profesor recorría cada uno de estos grupos para orientar la exploración de la máquina y la solución de las preguntas realizadas. Por grupo, explicaron el procedimiento que realizaron para hallar los voltios del motor, se les explicó los diferentes métodos de medición, las formas para hacerlo y los aparatos que se necesitan. Como es evidente, hubo una clara conexión entre el contenido teórico trabajado en la clase anterior con la experiencia práctica desarrollada en esta clase. Finalmente se hicieron comentarios finales de la experiencia donde los estudiantes reconocieron que tuvieron dificultades para entender la diferencia entre medir y calcular, para hacer las

mediciones porque no tenían instrumentos y no sabían cómo hacerlo, pero que fue muy valioso el experimento porque nunca antes habían hecho algo parecido y que hasta el momento había sido la experiencia más cercana que habían tenido de su carrera de Ingeniería Mecánica.

*Sesión 3:* Para esta clase, los estudiantes debían haber revisado el plan de estudios de Ingeniería Mecánica e identificar las asignaturas que creen necesitar para construir un perro mecánico como el que habían trabajado en la sesión anterior y que, a su vez, les eran útiles para construir la herramienta de la poda. Durante la clase, se llamó a un representante de cada grupo a compartir el trabajo de articulación que habían realizado con el plan de estudios. Mencionaban la asignatura y exponían las razones por las que consideraban que esa materia sería útil para lo fines planteado. Al finalizar, se enfatizó igualmente en el componente de formación básica de la malla en donde el componente socio humanístico juega un papel fundamental en la creación de máquinas, en la medida que se valora el efecto positivo o negativo de un artefacto para el hombre y el medio ambiente y su sostenibilidad.

*Sesión 4:* Para esta sesión, se tuvo como objetivo la exploración de distintas alternativas de solución ante un problema. Por ello, se les facilitó un esquema como se muestra en la Fig. 1.

Inicialmente cada estudiante evaluó el problema del cambio climático y diligenció el esquema facilitado. Luego, por grupos realizaron un listado de todas las alternativas de solución al problema, teniendo en cuenta que fuesen lo más novedosas y distintas entre ellas. Al finalizar la clase cada grupo compartió lo realizado, lo que se prestó para un debate entre docente-estudiantes y estudiantes-estudiantes en la medida que se evaluaba la viabilidad de las propuestas.

Para el desarrollo de los trabajos de clase se hizo uso de varias herramientas de apoyo como los mapas conceptuales para el tema del cambio climático y sus posibles soluciones; Power Matrix Game, el juego de las energías renovables en donde los estudiantes debían tomar una posición, sea ésta *verde* donde se hace uso de los recursos renovables para obtener energía, *moderada* donde se hacen uso de recursos renovables y no renovables, o *conservadora* donde se hace uso exclusivo y excesivo de los no renovables, para construir una ciudad; un perro mecánico para la clase de tipos de movimiento y engranajes; el uso de facturas de servicios públicos como la energía eléctrica; se puso a disposición de los estudiantes

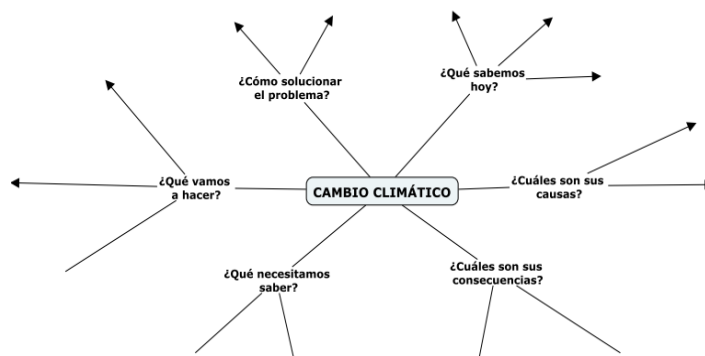


Figura 1. Esqueleto de Mapa mental sobre el cambio climático entregado a los estudiantes

Fuente: Los autores

el laboratorio de diseño, Fischertechnik y plataformas similares; el préstamo de multímetro y tacómetro para hallar potencia de accionamiento del motor eléctrico y el régimen de giro de cada uno de los componentes de un perro mecánico.

## 5. Resultados

### 5.1. Encuesta

La encuesta, que constó de 50 ítems puntuados de 1 a 5, los cuales fueron agrupados en once categorías para su análisis, fue proporcionada por el Centro para la Excelencia Docente Uninorte (CEDU) desde una investigación paralela que se realizó desde este centro con los profesores de las clases introductoras de ingeniería. El objetivo de la aplicación de esta encuesta fue Identificar las percepciones y motivaciones de los estudiantes hacia su carrera.

De los resultados de esta encuesta se obtuvo que la mayoría de los estudiantes piensan que los ingenieros son innovadores, creativos, han contribuido a la solución de muchos problemas, estudian esta carrera porque les gusta conocer el funcionamiento de las cosas, consideran que es un oficio respetado por la gente, que el papel de la tecnología es fundamental para resolver muchos problemas y que les gusta la imagen que les da el estudiar ingeniería. Esto quiere decir que su impresión acerca de la ingeniería resulta ser muy positiva porque consideran la relevancia de su campo de estudio para solucionar muchos problemas de la sociedad, además de que les gusta cómo es percibido social y profesionalmente el ser ingeniero.

Sobre las percepciones acerca de la profesión del ingeniero, los estudiantes esperan que les resulte gratificante y satisfactorio; consideran que tiene más ventajas que desventajas y que el esfuerzo al estudiarla valen la pena en un futuro; a todos les llama la atención estudiar esta carrera, les resulta interesante hacerlo salvo algunos de ellos que no descartan la posibilidad de cambiarse de carrera. Esto quiere decir que, en su mayoría, los estudiantes tienen una percepción positiva y les resulta interesante la carrera de ingeniería.

En relación a los aspectos financieros asociados a la ingeniería, consideran que en general es bien paga, pero no creen que sea la única carrera con la que pueda ganarse mucho dinero; piensan que no será muy difícil encontrar trabajo al egresar, y que su título les garantizará trabajo al graduar. Esto quiere decir que la carrera que han elegido estudiar, les genera cierta confianza y seguridad de su futuro acceso a la vida laboral y que, además, recibirán un buen pago por su trabajo

En cuanto a la contribución de la ingeniería en la sociedad, piensan que es una profesión medianamente preocupada por el bienestar de la sociedad y están más de acuerdo en que más que otros profesionales, contribuyen a que éste sea un mundo mejor. Además, manifestaron que tienen mayor afinidad por temas relacionados con ciencia y matemáticas que con historia o arte.

Los estudiantes también consideran que la ingeniería es una ciencia exacta, que implica buscar respuestas precisas a los problemas, lo que en general demuestra que tienen conocimiento de la rigurosidad de la disciplina.

En cuanto a aspectos familiares asociados a la elección de la ingeniería como opción profesional, niegan que sus padres

los hicieron estudiar ingeniería, pero que sin embargo en algunas familias hay un deseo de que sean ingenieros, por lo que predomina la libre elección de la ingeniería como carrera influida, en parte, por las familias.

En relación a las habilidades para resolver problemas reconocen no tienen grandes dificultades para hacerlo, que los gustan las situaciones problemas abiertas o con varias alternativas de solución, y que tienen cierto potencial creativo para hacerlo, por lo que en general consideran estar en capacidad de resolver problemas.

Sobre las inclinaciones hacía la carrera se consideran más inclinado a la parte mecánica que a la parte analítica, creen tener claridad sobre lo que hace un ingeniero y no se consideran tan buenos para el diseño.

En cuanto al trabajo académico prefieren estudiar en grupos que solos porque consideran que es mejor, en su etapa escolar no les disgustaba trabajar en grupos y la mayoría de sus grupos de amigos no estudian ingeniería, lo que quiere decir que se sienten cómodos trabajando en grupos y que resultaría ser una estrategia interesante si gran parte de los trabajos derivados de la clase se proponer trabajarse en grupos, así como la creación de grupos de estudio en la carrera.

Sobre los hábitos de estudio adecuados creen que le dedican generalmente buen tiempo al estudio, pero sienten que deben mejorar o cambiar sus hábitos de estudio.

### 5.2. Observación no participante al docente durante las clases

La Fig.2 representa los resultados de la aplicación de un protocolo de observación de clase diligenciado a partir de la observación no participante de uno de los investigadores a tres clases orientadas por el profesor. Este protocolo se aplicó con el fin de identificar, desde la práctica docente, los aspectos esenciales de los Ambientes de Aprendizaje Naturalmente Críticos.

El 80% representa la proporción de criterios que tuvieron una puntuación promedio superior o igual a 2.3 y el 20% restante la proporción de criterios que tuvieron una puntuación promedio entre 1.6 y 2.2.



Figura 2. Gráfica con la proporción de los criterios evaluados en la observación de clases al docente.

Fuente: Los autores

Según la observación de uno de los investigadores, los siguientes criterios se cumplieron en su totalidad durante las tres sesiones de clase desarrolladas por el profesor: “El profesor desarrolla los temas yendo de lo general a lo específico”, “Los alumnos pueden especular mucho antes de conocer algo”, “El profesor desafía (en forma de preguntas o tareas) que retan los paradigmas de los estudiantes” y “El profesor hace preguntas intrigantes, interesantes o importantes partiendo de la vida cotidiana”.

Esto quiere decir que el profesor considera que los estudiantes aprenden mejor de forma deductiva que inductiva, por lo que trabaja las sesiones de clase yendo de lo general a lo específico. De igual forma, reconoce que el profesor da la oportunidad a los estudiantes para probar y especular antes de llegar a las respuestas o soluciones finales de tareas y/o preguntas con las que él mismo reta las capacidades de análisis, razonamiento y creatividad de sus estudiantes, al tiempo que problematiza sus creencias de forma constante acerca de cómo funcionan las máquinas y sus repercusiones reales en el costo de vida de las personas y la sostenibilidad del medio ambiente.

Igualmente, los criterios “Los estudiantes pueden probar, fallar, recibir retroalimentación y tratar nuevamente antes de recibir un juicio (o notas) acerca de su trabajo”, “Pueden colaborar con otros aprendices que lidian con los mismos problemas”, “Ocasionalmente los estudiantes aceptan que sus paradigmas no son funcionales” y “Los estudiantes parecen percibir justicia en la forma de calificar del profesor”, se cumplen en alto grado debido a que el profesor le permite a los estudiantes tantear, equivocarse, pedir su revisión y la oportunidad de volverlo a intentar cuando les resulta difícil responder a las situaciones problema que les plantea. Asimismo, les da la posibilidad de trabajar en grupo durante la clase, hacer cada uno sus propuestas, discutir soluciones hasta llegar a un consenso, recibiendo su seguimiento y orientación constante. Debido al proceso previo para la solución del problema, los estudiantes tienen la posibilidad de analizar sus puntos de vista, evaluarlo, pensarlo de forma crítica y razonarlos con la evidencia para al final explicar con argumentos si lo que pensaban antes del proceso de análisis era posible y funcional.

Con respecto a la percepción de los estudiantes sobre la forma de calificar del profesor, les parece bastante justa debido a que éste les da la oportunidad de hacer segundas entregas mejoradas, participar de otras actividades académicas para mejorar sus calificaciones, resolver las actividades de clase en grupo, pedir su explicación y retroalimentación durante las actividades evaluativas en la clase, por lo que los estudiantes muestran satisfacción con la flexibilidad para ser evaluados durante las actividades distintas a los exámenes.

Por su parte, el criterio “Es notable que el profesor toma en consideración el trabajo de cada estudiante” se cumple medianamente a causa del poco tiempo para desarrollar las actividades. La asignatura de Introducción a la Ingeniería Mecánica se desarrolla en una hora de clase semanal y tiene inscritos veintiséis estudiantes, por lo que no es posible darle la oportunidad a cada estudiante o a gran parte de ellos para exponer o compartir sus trabajos o intervenciones por el poco tiempo del que se dispone. Asimismo, se observó que el profesor tiene identificados en el salón de clase a ciertos

estudiantes que por su rendimiento académico, asistencia y actitud durante las clases, solicita su participación con mayor frecuencia en comparación con otros estudiantes.

Igualmente, el criterio “Los estudiantes obtienen apoyo (asistencia emocional, física e intelectual) cuando la solicitan” se cumple medianamente pues si bien el profesor ofrece su apoyo para el desarrollo de ciertas experiencias, esto no se observa por ejemplo en las actividades evaluativas como los exámenes. La asistencia emocional es reducida debido a que el profesor se dirige siempre a los estudiantes con firmeza, resultando ser de muy poco apoyo emocional para los estudiantes que esperan, en algunas ocasiones, respuestas más reconfortantes.

### 5.3. Observación de los estudiantes a la dinámica de clases

La Fig. 3 representa los resultados de un protocolo de observación de clase diligenciado por los estudiantes luego de una clase de Introducción a la Ingeniería Mecánica. Este protocolo se aplicó con el fin de identificar la percepción de los estudiantes sobre las clases orientadas desde la estrategia de Ambientes de Aprendizaje Naturalmente Críticos.

El 75% representa la proporción de criterios que tuvieron una puntuación promedio superior o igual a 2.3 y el 25% restante la proporción de criterios que tuvieron una puntuación promedio entre 1.6 y 2.2.

Según la percepción de los estudiantes sobre el profesor y la metodología que utiliza, el criterio “En la clase puedo trabajar en grupo con mis compañeros sobre un problema o pregunta” se cumple en su totalidad debido a que el profesor generalmente propicia espacios de trabajo en grupo para la discusión de situaciones problemas propuestas. Los criterios “Pienso que puedo aprender bien en esta asignatura” “El profesor nos hace preguntas que me parecen muy interesantes o importantes” y “El profesor nos propone resolver problemas que nos parecen interesantes o importantes” se cumplen también en alto grado debido a que el profesor les plantea frecuentemente preguntas retadoras que cuestionan los paradigmas de los estudiantes y movilizan sus procesos de pensamiento.

El criterio “Siento que el profesor confía en que podemos aprender (en ésta y otras materias)” se cumple satisfactoriamente según los estudiantes, debido a que sienten



Figura 3. Gráfica con la proporción de los criterios de la clase evaluados por los propios estudiantes.

Fuente: Los autores

que el profesor cree en sus capacidades y habilidades para desempeñarse en la materia de Introducción a la Ingeniería Mecánica. El criterio “creo que el profesor es justo y honesto al calificar nuestros trabajos, tareas o exámenes” se cumple plenamente debido a la percepción positiva y justa que tienen sobre la forma en que les califica el profesor, así como el criterio “Siento que he aprendido lo básico de cómo es esta ingeniería y de qué trata” pues consideran que han tocado los conocimientos de la línea base del programa necesarios para desempeñarse durante la carrera.

En el criterio “en la clase aprendemos desde la práctica, con ejemplos de la vida cotidiana, del mundo que vivimos” se cumple en alto grado debido a que los estudiantes reconocen los esfuerzos del profesor por conectar su vida cotidiana con los conocimientos puros de la ingeniería mecánica para empezar a entender los fenómenos cotidianos desde la disciplina en estudio. Asimismo, el criterio “siento que el aprendizaje depende mucho de mí y no solo del profesor que me tocó” se cumple satisfactoriamente porque los estudiantes reconocen su compromiso para con su propio aprendizaje sin que éste dependa exclusivamente del profesor que les fue asignado.

Se cumplen en alto grado los criterios “el profesor nos brinda varias oportunidades para demostrar lo que sabemos, antes de colocar una nota”, “para el profesor cada trabajo o tarea que hacemos es importante” “El profe nos hace preguntas que nos confrontan o que confrontan lo que sabemos”, “el profesor nos explica mejores formas de entender el mundo”, “las buenas notas en la materia se logran con esfuerzo y dedicación. No dependen tanto de la inteligencia” y “en las clases acepto que he estado equivocado respecto a cómo entiendo los temas”, a razón de los distintos momentos que el profesor propicia a los estudiantes para discutir los temas y exponer sus argumentos y puntos de vista; les otorga relevancia a cada actividad o trabajo que se les coloca como parte de la clase pues si bien hay un gran proyecto final, cada una de las actividades que se realizan durante la clase tributan en aprendizajes para la ejecución de dicho proyecto; las preguntas que formula les cuestiona frente a sus paradigmas y creencias, por lo que les exige gran capacidad de análisis y razonamiento; consideran que el profesor explica distintas y prácticas formas de entender los fenómenos de su cotidianidad, especialmente desde el cuerpo de conocimiento de la Ingeniería mecánica y, que depende del compromiso e involucramiento de cada uno de ellos, la posibilidad de comprender mejor el campo disciplinar y las aplicaciones de este en su cotidianidad.

Por otro lado, los criterios “luego de cada actividad o examen el profesor nos dice que hicimos bien y qué hicimos mal”, “en la clase, especulamos sobre cómo y porqué ocurren las cosas, antes de que el profesor lo explique”, “cuando tengo alguna dificultad con la asignatura, me siento apoyado por el profesor”, “siento que en ésta clase puedo probar y fallar sin temor a equivocarme” y “los estudiantes que les va bien en ésta materia es porque son más inteligentes que los que les va mal” se cumplen aceptablemente según la percepción de los estudiantes, debido a que luego de la entrega de algunos exámenes y trabajos, no reciben retroalimentación por parte del profesor; en algunas circunstancias no sienten que el profesor esté siempre dispuesto a apoyarles y ocasionalmente sienten temor por equivocarse al dar sus respuestas por lo que prefieren no participar.

#### 5.4. Rúbrica de evaluación

Las Tablas 1, 2 y 3 presentan la rúbrica elaborada para determinar la presencia de los componentes de la creatividad en los estudiantes:

Tabla 1  
Rúbrica para evaluar el pensamiento creativo

Criterio	Escala de valoración		
	3	2	1
Fluidez	El grupo de estudiantes generó un número elevado de ideas para la resolución de un problema	El grupo de estudiantes generó algunas ideas para la resolución de un problema	El grupo de estudiantes generó muy pocas ideas para la resolución de un problema
Elaboración	El grupo de estudiantes generó ideas con alto nivel de detalle y complejidad	El grupo de estudiantes generó ideas con un nivel medio de detalle y complejidad	El grupo de estudiantes generó ideas con un nivel bajo de detalle y complejidad
Originalidad	El grupo de estudiantes generó ideas bastante diferentes y novedosas entre sí.	El grupo de estudiantes generó ideas medianamente diferentes y novedosas entre sí.	El grupo de estudiantes generó ideas poco diferentes y novedosas entre sí.
Flexibilidad	El grupo de estudiantes realizó muchos ajustes en sus ideas para alcanzar la solución de nuevos problemas	El grupo de estudiantes realizó algunos ajustes en sus ideas para alcanzar la solución de problemas.	El grupo de estudiantes realizó pocos ajustes en sus ideas para alcanzar la solución de problemas.

Fuente: Los autores

Tabla 2.  
Resultados de los componentes de la creatividad evaluados en el proyecto de la poda de árboles a partir de una rúbrica

Grupo	Fluidez	Elaboración	Originalidad	Flexibilidad
1	3	1	2	1
2	2	3	2	3
3	3	3	2	2
4	3	2	1	2
5	3	2	2	3
6	2	1	1	1
Promedio	2,7	2,0	1,7	2

Fuente: Los autores

Tabla 3.  
Resultados de los componentes de la creatividad evaluados en el proyecto del cambio climático a partir de una rúbrica

Grupo	Fluidez	Elaboración	Originalidad	Flexibilidad
1	2	2	2	2
2	2	1	2	1
3	3	2	3	2
4	1	1	2	1
5	1	2	2	1
6	1	1	1	1
Promedio	1,7	1,5	2,0	1,3

Fuente: Los autores

## 6. Análisis de resultados

Frente a los problemas específicos de cambio climático y la poda de árboles planteados a los estudiantes, valorando los componentes del pensamiento creativo evaluados se puede decir que la fluidez fue significativa en la primera actividad debido a que, siguiendo los postulados de Torrance, los estudiantes plantearon un número considerable de respuestas o alternativas de solución frente a este problema. Esto quiere decir que muy probablemente los estudiantes se sintieron familiarizados con la temática al no presentar mayores dificultades para generar soluciones diversas al problema.

El componente de elaboración del pensamiento creativo propuesto por Torrance, fue medianamente más significativo en la primera actividad porque generaron soluciones detalladas y complejas al tema de cambio climático teniendo en cuenta mayores elementos, recursos y situaciones emergentes. Asimismo, el componente de flexibilidad fue medianamente significativo en esta actividad puesto que, en el proceso de construcción de las ideas, los estudiantes les fueron realizando ajustes y modificaciones a medida que consideraban mayores detalles como el clima, el ahorro de la energía y el uso de recursos renovables y no renovables. Por último, el componente de originalidad fue mayor durante el proceso de generar ideas novedosas para la solución de la poda, debido a que los estudiantes propusieron ideas muy diversas en el uso de recursos para resolver el problema de la poda.

Si bien, en la actividad del cambio climático hubo mejores resultados en el planteamiento de las ideas, frente al problema de la poda no se obtuvieron los resultados esperados, pues si bien durante el proceso emergieron diversas ideas, al tener que materializarlas en un producto palpable, práctico que se pudiese utilizar para los fines planteados, los recursos de los grupos de estudiantes se agotaron y terminaron presentando el mismo producto industrializado que obtuvieron en una empresa distribuidora de materiales de construcción, ferretería y mejoramiento del hogar.

De estos resultados obtenidos, se puede afirmar que hubo una disposición mental inicial de plantear soluciones diversas y novedosas a los problemas planteados que no se vio reflejada en el desenvolvimiento ante un problema de la cotidianidad como lo es el de la poda de árboles.

De la observación realizada a la clase, se puede resaltar que desde la propuesta de Bain (2006) sobre Ambientes de Aprendizaje Naturalmente Críticos, el docente durante la clase realiza preguntas provocadoras e interesantes a los estudiantes que movilizan sus procesos de pensamiento e incitan a que se cuestionen sus creencias e ideas. Lo particular de estas preguntas es que se desprenden de la vida cotidiana de los estudiantes: ¿Cuánto consume el aire acondicionado de tu casa? ¿Has visto podar un árbol? ¿Cuántos vatios se consumen mensualmente en tu casa? Estas preguntas son ejemplos de las preguntas elaboradas por el docente durante las experiencias de clase observadas. Asimismo, permite a los estudiantes especular y equivocarse para acercarse a las respuestas que según Bain les da la posibilidad de probar, intentar, formular hipótesis y argumentar antes de llegar a la solución de un problema.

De igual forma, la percepción de los estudiantes sobre la clase como ambiente de aprendizaje naturalmente crítico concuerda con lo observado por el investigador a la clase del profesor, en la medida que los estudiantes reconocen que en las clases el profesor les

plantea preguntas y problemas interesantes y provocadoras que los hacen cuestionar sus ideas y paradigmas, consultar y organizar nuevos argumentos que sustenten su postura. Igualmente, reconocen que los aprendizajes durante la clase se realizan partiendo de situaciones de la vida cotidiana y reciben apoyo y acompañamiento oportuno del profesor para la búsqueda de respuestas, funciones que según Bain son pertinentes al docente dentro de estos ambientes, mientras que desde su papel como estudiantes en estos ambientes de aprendizaje, tiene mucho valor el apoyo entre compañeros para resolver los problemas, además de confiar en sus posibilidades y capacidades para aprender, roles que según Bain, son también fundamentales para el desarrollo de estos ambientes.

Sobre los resultados obtenidos de la encuesta de expectativas aplicada a los estudiantes, se puede afirmar que la identificación de los estudiantes con la matemáticas y la física que influye en la decisión de tomar carreras afines planteada por Godwin, Potvin, Hazari y Lock en su investigación, se refleja en la alta calificación que obtuvo el ítem “Me gustan los temas relacionados con ciencia y matemáticas”, y por el contrario una muy baja calificación el ítem de “Disfruto más asignaturas como historia o arte que matemáticas o ciencias”, lo que sustentaría la elección de carrera de este grupo de estudiantes.

De igual forma, las creencias sobre el alcance de la ciencia para resolver problemas del mundo y cómo estas son predictoras de esta elección profesional planteadas también en la investigación de Godwin, Potvin, Hazari y Lock (2016) sustenta también la alta calificación de ítems en los que se afirma que la ingeniería es una profesión preocupada por el bienestar de la sociedad, que contribuye a que éste sea un mundo mejor y a resolver muchos problemas, especialmente con ayuda de la tecnología.

Sin embargo, en contraste con la investigación de estos autores en la que sustentan que las creencias de los estudiantes sobre cómo será su rendimiento en la carrera es negativa al ingresar, la encuesta de expectativa aplicada a los estudiantes indica que sienten confianza en sí mismo de que les irá bien estudiando ingeniería, que les gusta solucionar problemas abiertos o con más de una alternativa de solución y que incluso esperan que les resulte gratificante y satisfactorio estudiarla.

Por último, teniendo en cuenta que la investigación de Ortiz, García, y Machín (2002) estuvo orientada a conocer la creatividad en los estudiantes y a la invitación a la reflexión sobre las características de un ingeniero mecánico y cómo éstas contribuyen a gestar cambios, los resultados de esta encuesta denotan que entre las características que según los estudiantes tienen los ingenieros se encuentra el ser innovadores, creativos, curiosos y que les gusta conocer cómo funcionan las cosas. Asimismo, devela que para los estudiantes estas características son primordiales para el ingeniero mecánico porque son sus recursos para resolver problemas en la sociedad.

## 7. Conclusiones

Las principales conclusiones de esta investigación de aula son las siguientes:

- Hubo una disposición mental inicial por parte de los estudiantes de plantear soluciones diversas y novedosas a los problemas presentados.

- La actitud del docente hacia la clase propició la movilización de proceso de pensamiento e incitó a que los estudiantes cuestionaran sus pensamientos y creencias, así como les permitió formular y probar hipótesis para llegar a la solución de problemas.
- Movilizar el pensamiento creativo de los estudiantes dependerá de la situación problema que se les proponga y el acompañamiento del que dispongan para la materialización de la solución.
- Los ambientes de aprendizaje naturalmente críticos llevaron a los estudiantes a cuestionarse a sí mismos y a sus compañeros para revisar y replantear ideas y argumentos.
- La realización de preguntas provocadoras e interesantes a los estudiantes durante la clase movilizan sus procesos de pensamiento e incitan a que se cuestionen sus creencias e ideas.
- El planteamiento de problemas cotidianos favorece la exploración del problema y el planteamiento de soluciones porque se encuentran familiarizados con las situaciones presentadas.
- Dar a los estudiantes la posibilidad de especular y equivocarse para acercarse a las respuestas les permite probar, intentar, formular hipótesis y argumentar antes de llegar a la solución de un problema.
- La identificación de los estudiantes con las matemáticas y las ciencias es predictor de la decisión para tomar carreras afines tales como las ingenierías.
- Las creencias sobre el alcance de la ciencia para resolver problemas del mundo influyen en la elección de las ingenierías como opción profesional.
- Las creencias de los estudiantes sobre cómo será su rendimiento en la carrera son positivas por cuanto sienten confianza en sí mismo y en sus capacidades y piensan que les irá bien estudiando ingeniería.
- Hizo falta más tiempo de clase para brindar a los estudiantes mayor supervisión y acompañamiento que permitiese conocer los avances, retrocesos o estancamientos que pudieron tener en el proceso.
- Hizo falta mayor compromiso y empeño por parte de los estudiantes para llevar a cabo el proyecto de la poda planteado.

## Referencias

- [1] Guilford, J., Creativity. *The American Psychologist*, 5(9), pp. 444-454, 1950. DOI: 10.1037/h0063487
- [2] Franco, A.H.R., Butler, H.A. and Halpern, D.F., Teaching critical thinking to promote learning. In: Dunn, D.S., (Ed.), *The Oxford Handbook of Undergraduate Psychology Education*. New York, NY: Oxford University Press, 2014.
- [3] Torrance, E.P., *The Torrance tests of creative thinking - Norms - Technical Manual Research Edition*. Princeton, NJ: Personnel, 1974.
- [4] Bain, K., *Lo que hacen los mejores profesores de universidad*. Universidad de Valencia, 2006.
- [5] Almeida, L.S. and Franco, A., Critical thinking: Its relevance for education in a shifting society. *Revista de Psicología*, 29(1), pp. 175-195, 2011.
- [6] Facione, P.A., *Critical thinking: What it is and why it counts*. Insight assessment, 2010.
- [7] Halpern, D.F., The nature and nurture of critical thinking. In: Sternberg, R.J., Roediger, H.L. and Halpern, D.F., (Eds.), *Critical thinking in psychology*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2006, pp. 1-14.

- DOI: 10.1017/CBO9780511804632.002
- [8] Hussein, C.L., Eficiência de um treino de leitura crítica em pós-graduandos de diferentes áreas. *Psicologia, Ciência e Profissão*, 28(4), pp. 794-805, 2008. DOI: 10.1590/S1414-98932008000400011
  - [9] Halpern, D.F., *Thought and knowledge: An introduction to critical thinking* (5th ed.), New York, USA: Psychology Press, 2014. ISBN: 978-1-315-88527-8.
  - [10] Saiz, C. y Rivas, S.F., Mejorar el pensamiento crítico contribuye al desarrollo personal de los jóvenes? In: Ribeiro, H.J. and Vicente, J.N., (Eds.), *O lugar da lógica e da argumentação no ensino da Filosofia*. Universidade de Coimbra: Unidade I&D, Linguagem, Interpretação e Filosofia, 2010, pp. 39-52.
  - [11] Franco, A.R., Almeida, L.S. y Saiz, C., Pensamiento crítico: Reflexión sobre su lugar en la enseñanza superior. *Educatio Siglo XXI*, 32(2), pp. 81-96, 2014. DOI: 10.6018/j/202171
  - [12] Godwin, A., Potvin, G., Hazari, Z. and Lock, R., Identity, critical agency, and engineering: An affective model for predicting engineering as a career choice. *Journal of Engineering Education*, 105(2), pp. 312-340, 2016. DOI: 10.1002/jee.20118
  - [13] Ortiz, T., García, A. y Machín, V., La estimulación de la Creatividad en estudiantes de ingeniería mecánica: Una experiencia en la asignatura elementos de máquinas. *Ingeniería Mecánica* 3, pp. 59-67, 2002.
  - [14] Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P., *Metodología de la investigación* (3ª ed.). México: Editorial Mc Graw-Hill, 2003.

**L.A. Corredor-Martínez**, recibió su título de Ing. Mecánico en 1988 y de Dr. en Ing. Mecánica y Fabricación en 1999 en la Universidad Politécnica de Madrid, España. Es investigador senior desde el 2006, se encuentra vinculado al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Norte, Colombia, como docente, investigador, coordinador de maestría y doctorado en Ingeniería Mecánica. Asimismo, se desempeñó como docente y/o investigador en la Universidad de Antioquia, Colombia de 1996 a 1997, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de 1992 a 1995 y en la Universidad Politécnica De Madrid de 1991 a 1995. Sus intereses investigativos incluyen: Ingeniería y Tecnología e Ingeniería Mecánica en general. ORCID: 0000-0002-3037-739X

**K.J. De La Hoz-Del Villar**, recibió el título de Lic. en Pedagogía Infantil en 2017 en la Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. Trabajó en un proyecto educativo para el mejoramiento de procesos pedagógicos y el desarrollo de competencias en los estudiantes de décimo y undécimo grado con la Universidad del Norte y la Secretaría de Educación Distrital de Barranquilla. Se ha desempeñado como asistente de laboratorios pedagógicos desde el 2015, ha sido co-investigadora en diversos proyectos educativos y asistente de la Unidad de formación pedagógica docente del Centro para la Excelencia Académica Uninorte, Colombia. ORCID: 0000-0002-6225-3623



# Metodología 4321 de trabajo en grupo para fortalecer el aprendizaje de la programación usando aprendizaje colaborativo y aprendizaje cooperativo

Omar Iván Trejos-Buriticá,

Facultad de Ingenierías, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. [omartrejos@utp.edu.co](mailto:omartrejos@utp.edu.co)

**Resumen--** El propósito de la investigación que inspira este artículo consiste en la búsqueda de caminos que permitan aprovechar las fortalezas que puede proporcionarle, a un estudiante promedio, el trabajo en grupo desde una perspectiva tanto colaborativa como cooperativa, dependiendo de las necesidades. Este estudio se ha realizado en el 1º semestre de Ingeniería de Sistemas a lo largo de tres años y para ello se ha acudido a una metodología tanto cuantitativa como cualitativa a partir de los resultados numéricos de las evaluaciones como de la interacción, observación y diálogo con los estudiantes. Se han obtenido unos resultados que permiten aportar a la discusión de trabajo en grupo y que proporcionan elementos de juicio para aprovechar lo que se haga en el aula a la luz de esta técnica. Se concluye que es posible lograr que se mejore el aprendizaje individual de la programación de computadores si el trabajo en grupo se estructura bajo una metodología claramente definida, si se aplica un enfoque que se ajuste a las necesidades de lo que se quiere hacer y si se logra que los estudiantes sean partícipes activos de este tipo de procesos.

**Palabras clave--** Aprendizaje colaborativo; aprendizaje cooperativo; enseñanza de la programación; metodología de trabajo; programación de computadores.

Recibido para revisar Junio 5 de 2017, aceptado Agosto 9 de 2017, versión final Agosto 20 de 2017

## Methodology teamwork's 4321 to improve learning in computer programming using collaborative learning and cooperative learning

**Abstract--** The purpose of the research this article is based is the finding of some ways that let us to improve the programming computer learning using the strengths of a working group for an average student using collaborative and cooperative learning. This research was developed in the 1<sup>st</sup> semester of Systems Engineer program during three years and we use a quantitative and qualitative methodology with numerical results in the assessments and interaction and communication with the students. We obtained results for the discussion about the working groups that bring some criteria for the academic work in the classroom. We conclude that is possible to improve the personal learning of the computer programming if the work in groups is bases in a defined methodology, if we use also a defined approach about we want in the classroom and if the students participate actively in this process.

**Keywords--** Collaborative Learning; cooperative learning; programming teaching; working methodology; computer programming.

## 1. Introducción

Una de las grandes dificultades que se presentan en el desarrollo del proceso formativo de los estudiantes de programas de Ingeniería y, especialmente, de Ingeniería de

Sistemas consiste en poder articular habilidades y cualidades para que se trabaje en grupo y para que éstos se conviertan en equipos que complementen sus habilidades en el logro de diferentes objetivos. Normalmente el trabajo en grupo es una de las estrategias más cotidianas en los salones de clase de las Universidades pero ¿cómo se desarrollan las actividades que se realizan con grupos de estudiantes? ¿cuál podría ser un camino para lograr que, por la vía del trabajo en grupo, se puedan complementar las habilidades y, al interior de un grupo, unos integrantes puedan aprender de otros?

Estas son apenas algunas de las inquietudes que han inspirado esta investigación que, junto con otras, propende por conocer algunas técnicas para que el trabajo en grupo sea eficiente y permite el crecimiento cognitivo y profesional de cada uno de los integrantes. A este respecto debe advertirse que se han desarrollado diferentes estudios orientados a capitalizar técnicas de trabajo en grupo con el ánimo de poder lograr los mejores resultados tanto para el grupo como para cada uno de los integrantes de manera individual.

¿Cuántas veces el resultado de un grupo muy satisfactorio pero el resultado individual no lo es tanto? ¿cuántas veces se ha visto en el salón de clase que un grupo entrega todo lo previsto dentro de una actividad específica pero, cuando ésta se confronta con los resultados individuales, se observa que ese mismo trabajo en grupo (aparentemente exitoso) no ha tenido el efecto esperado en cada uno de los integrantes? Lo que se pretende en este artículo es presentar los resultados de una metodología que busca articular a los estudiantes en una conformación adecuada de los grupos basándose en un modelo específico de caracterización de habilidades y enfoques y, de la misma manera, posibilitar el aprendizaje de unos y otros de manera que, al final, cada uno haya logrado sus objetivos individuales dentro de un proceso de formación en ingeniería.

Se ha acudido a una clasificación de estudiantes basada en el modelo 4Q de preferencias de pensamiento formulada por el Dr. William Herrmann (Herrmann, 2000) para que los grupos no se organicen de manera aleatoria sino que se haga desde una perspectiva científica de forma que sus habilidades se puedan complementar en función de los objetivos de aprendizaje y que éstos se alcancen tanto en lo grupal como en lo individual. A lo

**Como citar este artículo:** Trejos-Buriticá, O.I., Metodología 4321 de trabajo en grupo para fortalecer el aprendizaje de la programación usando aprendizaje colaborativo y aprendizaje cooperativo. Educación en Ingeniería, 13(25), pp. 28-36, Febrero, 2018.

largo del semestre se planearon cuatro evaluaciones: tres parciales y una evaluación final y se realizaron en formato de grupos según la clasificación establecida. También se realizaron talleres cuya valoración formaba parte integral de cada uno de los parciales. En la sección destinada a tal fin se presentarán los resultados pertinentes.

Los resultados indicaron que definitivamente cuando se cuenta con un modelo específico para organizar los grupos de trabajo de los estudiantes, es posible esperar un impacto más favorable al proceso individual de cada uno, lo cual invita a pensar que el trabajo en grupo va mucho más allá de la simple agrupación de estudiantes, sino que corresponde al docente el perfilamiento de ellos para que, sobre la base de sus capacidades individuales y sus ritmos personales de aprendizaje, se pueda conformar grupos que sean complementarios al interior de cada uno. El docente no solo debe ser un guía sino un organizador y un coequipero. Como organizador tiene la tarea de conocer modelos que permitan perfilar a los estudiantes y como coequipero debe estar en la capacidad de acompañarlos, de analizarlos, de complementar sus necesidades de aprendizaje y, en lo posible, de resolverlas de manera satisfactoria.

Lo innovador de esta investigación podría estar en el hecho de que pocas veces se acude a modelos científicos para la conformación de grupos y para el análisis de su desempeño y que no siempre se toman el tiempo necesario, los docentes ingenieros, para comparar resultados e intentar encontrar caminos más eficaces para el proceso de aprendizaje que conducen, además de probar las conclusiones en el aula de clases.

Este artículo es un producto del proyecto de investigación 6-16-13 titulado “Desarrollo de un modelo metodológico para el aprendizaje de la programación en Ingeniería de Sistemas basado en Aprendizaje Significativo, Aprendizaje por Descubrimiento y el Modelo 4Q de preferencias de pensamiento” avalado por el Consejo de Facultad de Ingenierías y aprobado por la Vicerrectoría de Investigaciones, Extensión e Innovación de la Universidad Tecnológica de Pereira.

La temática que se propone como su razón investigativa de ser plantea especial relevancia por el posible impacto que puede generar en ingenieros docentes y, en general, en aquellos docentes de programas de formación tecnológica. La investigación se desarrolló con los estudiantes del curso Programación II de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Tecnológica de Pereira durante los semestres I 2014, II 2014, I 2015, II 2015, I 2016 y II 2016. El presente estudio se ha realizado bajo los parámetros y metodologías asociadas con la investigación cuantitativa y cualitativa en Educación y se ha acudido a las teorías de aprendizaje significativo y aprendizaje por descubrimiento sobre la base de los enfoques active learning, collaborative learning, cooperative learning y el modelo 4Q de preferencias de pensamiento.

¿Es posible potencializar las capacidades y los ritmos de aprendizaje individuales de los estudiantes de un curso de programación de computadores a partir de una metodología de trabajo en grupos que se han conformado con criterios científicos y que se han organizado bajo metodologías inspiradas en teorías de aprendizaje? La respuesta es el contenido de este artículo que se espera aporte elementos de

juicio para las discusiones que, al respecto, tengan lugar en las salas de profesores de programas de Ingeniería.

El objetivo general de este artículo, según lo expuesto, es aportar elementos de juicio en el sentido de la hipótesis e intentar encontrar caminos que capitalicen el trabajo en grupo a la luz de un curso de programación. Para el desarrollo tanto de la investigación como del artículo se ha acudido a una bibliografía especializada y a los aportes que proporciona la experiencia del autor. El artículo está organizado según la estructura IMRYD que inicia con una introducción que complementada por un marco teórico.

Luego se expone la metodología que se utilizó en la investigación y se presentan los resultados derivados de la misma para realizar una discusión a partir de ellos. Finalmente se plantean unas conclusiones que se espera enriquezcan las discusiones al respecto de la formación en programación en Ingeniería de Sistemas y otras ingenierías y el trabajo en el aula bajo la metodología de trabajos en grupo.

## 2. Marco Teórico

El aprendizaje significativo se refiere a una teoría de aprendizaje [1] según la cual el conocimiento se adquiere a partir de las relaciones que se puedan establecer con el conocimiento previo. A la luz de esta teoría, los aprendices se integran activamente con el nuevo conocimiento teniendo en cuenta las bases que les proporciona el conocimiento previo que ya traen. Los mapas conceptuales han permitido, gráficamente, convertirse en una técnica que permite a los estudiantes conectar el conocimiento preexistente en determinada asignatura [2]. Posiblemente sea el Internet el factor principal que actualmente incide en el aprendizaje significativo. Las tecnologías Web 2.0, tales como Wikipedia, los blogs y Youtube, han logrado que el aprendizaje sea mucho más sencillo y han posibilitado un acceso más fácil a los estudiantes [3].

Los estudiantes han demostrado mayor interés en la medida en que tienen acceso libre y fácil a estas herramientas, y por lo tanto pueden aprender con mayor facilidad cuando el material tiene significado frente a sus necesidades de conocimiento. El desarrollo de la motivación es uno de los objetivos del aprendizaje significativo dado que los estudiantes que estén más interesados aprenden de manera más efectiva [4]. A partir de la teoría cognitiva del aprendizaje, basada en la teoría del procesamiento humano de la información, los tres principales procesos de aprendizaje son: cómo se desarrolla el conocimiento, cómo se integra el nuevo conocimiento dentro de un sistema de conocimiento ya existente y cómo el conocimiento se incorpora automáticamente.

Ausubel se enfocó en el aprendizaje significativo, como una experiencia clara y precisa que se articula conscientemente con signos, símbolos, conceptos y proposiciones que tienen significado y que aportan elementos individuales para fortalecer la estructura cognitiva a partir del enlace posible entre conocimiento previo, el nuevo conocimiento y la actitud del estudiante. Cuando se habla de la misión de un proceso de aprendizaje, es posible que muchos estén de acuerdo en que éste debe permitir que el conocimiento vaya más allá de las creencias, las costumbres y los valores [5].

El propósito de la formación profesional consiste en preparar a los estudiantes para los retos y necesidades que se

encuentran en la sociedad. Por lo tanto se necesita que el conocimiento no sea un conjunto de datos e información que esté aislada del contexto en el cual se necesita sino que los estudiantes puedan establecer nexos entre lo que aprenden y lo que viven de tal forma que, al encontrar significado, puedan hacer efectivos los conocimientos adquiridos desde sus respectivos procesos de formación profesional [6].

Cuando se aprende, se asocian significados que tienen que ver con las cosas que están alrededor nuestro, y esos significados pueden ser diferentes dependiendo del entorno cultural [7]. Uno de los temas educativos recurrentes es el debate acerca de lo que sabemos acerca del aprendizaje significativo y la capacidad individual de aplicarlo en diferentes contextos. La pregunta que surge entonces es ¿qué grado de significatividad en el aprendizaje depende de la relación que los estudiantes puedan establecer entre el nuevo conocimiento y el conocimiento previo? El conocimiento es considerado significativo cuando se puede generalizar, cuando puede ser aplicado y cuando es durable en el tiempo. Un conocimiento durable es aquel que perdura por un largo tiempo en la memoria y al cual podemos acceder en cualquier momento [8]. Que el conocimiento se pueda generalizar significa que se puede asociar a diferentes contextos, situaciones y tareas y que sea aplicable o funcional significa que lo aprendido nos permita actuar de manera diferente.

El aprendizaje por descubrimiento es una teoría de aprendizaje con un enfoque constructivista que está soportada por los trabajos científicos de psicólogos como Jean Piaget y Jerome Seymour Bruner. Esta filosofía originó en su momento el movimiento de aprendizaje por descubrimiento, el cual se fundamenta en algo muy simple, “aprender haciendo”.

La estructura del aprendizaje por descubrimiento puede cubrir diferentes técnicas instruccionales. Una tarea de aprendizaje puede ir desde el hallazgo de un patrón implícito hasta las explicaciones más detalladas de un manual de simulaciones [9]. El aprendizaje por descubrimiento puede ocurrir cuando el estudiante aún no tiene una respuesta exacta pero cuenta con los materiales para encontrarla si los utiliza apropiadamente y de manera autónoma. Éste emerge en las situaciones donde debe resolverse un problema en la cual el aprendiz esquematiza la solución a partir de su propia experiencia y sus conocimientos previos y se convierte en un método de instrucción que permite que los estudiantes interactúen con su entorno a partir de la exploración y manipulación de objetos, luchando inquietudes y controversias o diseñando experimentos [10].

En términos de esta teoría, el aprendiz requiere descubrir en nuevos contextos a través de procesos de investigación o realizando procedimientos que requieren de una pequeña ayuda. Algunos investigadores aseguran que el aprendizaje por descubrimiento sin acompañamiento no necesariamente permite que los estudiantes concluyan las reglas necesarias para resolver problemas, para encontrar estrategias de conservación o para inferir conceptos de programación.

Por su parte, como Active Learning, se conoce un método de enseñanza que invita a que los estudiantes se involucren directa y conscientemente en su propio proceso de aprendizaje [11]. El término “Active Learning” fue introducido recientemente como una forma de invitar a que los estudiantes

participen en el proceso de aprendizaje en vez de ser asistentes pasivos del mismo. Es de anotar que los diferentes niveles de Aprendizaje Activo dependerán del compromiso que cada alumno adquiera consigo mismo, con la fijación de sus metas, con los esfuerzos que haga para alcanzarlas y con la efectividad con que lo logre.

Es un modelo de instrucción que enfoca la responsabilidad del aprendizaje en los mismos aprendices. Se han discutido diferentes metodologías para promover el aprendizaje activo teniendo en cuenta que, para aprender, los estudiantes deben hacer mucho más que simplemente escuchar. Deben leer, escribir, discutir o dejarse involucrar por la búsqueda en la solución de problemas. Se relaciona con los tres dominios de aprendizaje referidos como conocimiento, habilidades y actitudes y con la taxonomía del comportamiento del aprendizaje que puede ser enseñado como los objetivos del proceso de aprendizaje [12]. De manera particular, los estudiantes deben ser “enganchados” en tareas de pensamiento de alto nivel tales como análisis, síntesis y evaluaciones. El aprendizaje activo involucra a los estudiantes en dos aspectos: haciendo cosas y pensando en las cosas que están haciendo.

Los estudios han demostrado que los resultados intermedios en la construcción del conocimiento son posibles a través del aprendizaje activo, los jóvenes avanzan por un camino de construcción de conocimiento, de almacenamiento del conocimiento y de absorción del conocimiento. Este proceso de construcción de conocimiento depende del conocimiento previo que tenga el aprendiz en donde el aprendiz pueda comprometerse con propio proceso de cambio en las bases cognitivas y pueda regularlo por sí mismo.

El aprendizaje colaborativo consiste en una situación de aprendizaje en la cual dos o más personas intentan aprender algo, juntos. A diferencia del aprendizaje individual, las personas involucradas en el aprendizaje colaborativo aprovechan los recursos, habilidades y talentos de otros (como preguntar sobre determinada información, evaluar ideas de otro, monitorear el trabajo de los demás, etc.). De una manera más clara, el aprendizaje colaborativo se basa en el modelo de conocimiento que se puede crear cuando existen miembros activos que pueden interactuar a partir de compartir experiencias y asumir roles asimétricos [13].

De la misma manera, el aprendizaje colaborativo se refiere a las metodologías y entornos en donde los aprendices se comprometen con una tarea común en donde cada uno depende de los demás. Esto incluye tanto un trabajo de conversaciones cara a cara aunque en la actualidad la interacción directa mediada por servicios asíncronos que proveen las nuevas tecnologías ha cambiado el concepto de la interacción directa y lo han actualizado [14]. De esta forma, se consideran en la actualidad como parte de este tipo de aprendizaje, los foros en línea, las salas de chats, los enlaces directos y otros servicios similares. Entre los métodos que permiten examinar los resultados que provienen de la adopción de estrategias de aprendizaje colaborativo incluyen análisis de conversaciones y análisis estadísticos de discursos.

Por estas razones, el aprendizaje colaborativo es mucho más útil cuando se usa con grupos de estudiantes que trabajan juntos buscando aprender, encontrar significado, resolver problemas o crear un artefacto o un producto de su propio aprendizaje [15].

De esta forma, el aprendizaje colaborativo pareciera redefinir el rol de la relación entre docente y estudiante y, de manera particular, el papel del docente en un proceso de aprendizaje en el aula de clases cuyos resultados siempre parecieran ser mucho más benéficos que perjudiciales dada la interacción que se sucede durante el desarrollo de las actividades entre los mismos estudiantes. Entre las actividades de aprendizaje colaborativo se pueden incluir escritos colaborativo, proyectos en grupo, soluciones conjuntas de diferentes problemas, debates, equipos de estudio y muchas otras.

El aprendizaje colaborativo resulta ser una muy interesante forma de promover el pensamiento crítico entre los estudiantes. Las investigaciones indican que los estudiantes de manera individual pueden lograr niveles bastante altos de aprendizaje y de retención de información cuando trabajan en grupos [16]. Esto también permite el avance en el conocimiento para los instructores, facilitadores o acompañantes.

El aprendizaje cooperativo es un enfoque educativo que permite organizar actividades en el salón de clases de manera que se conviertan en experiencias académicas y sociales. Hay mucho más allá, en el aprendizaje cooperativo, que simplemente organizar a los estudiantes en grupos y se puede describir como una interdependencia positiva [17]. Los estudiantes deben trabajar en grupos para completar colectivamente las tareas con el fin de alcanzar objetivos académicos. A diferencia del aprendizaje que se da cuando el estudiante trabaja individualmente, el cual puede ser competitivo por naturaleza, los estudiantes que trabajan cooperativamente pueden aprovechar los recursos y habilidades de los demás.

El rol del docente cambia de dar información a facilitar el aprendizaje de los estudiantes. En un grupo, todos triunfan si el grupo triunfa. El aprendizaje cooperativo incluye metas como la exigencia intelectual, la creatividad, la mente abierta e incluye tareas de pensamiento de alto nivel. Cuando se incorpora el aprendizaje cooperativo como estrategia en el aula, es posible promover, entre los alumnos, interdependencia positiva, una fuerte relación entre los integrantes de los grupos, interacción mediada o directa pero frente a frente y totalmente síncrona, detección de las habilidades necesarias requerida en grupos pequeños y procesamiento en grupo [18]. Los estudiantes involucrados en procesos de aprendizaje cooperativo, tienden a trabajar mejor en grupo, a razonar mejor, a entender otros puntos de vista, a mejorar su autoestima, a debatir sanamente y a aprender a complementarse con los demás.

El modelo 4Q de preferencias de pensamiento es un modelo formulado por William Herrmann, quien siempre se preocupó por la forma como el cerebro explica las cosas de manera diferente en cada persona y por qué algunas cosas son más simples para unas personas que para otras. Acudiendo a la investigación sobre el cerebro desarrollada por diferentes científicos, Herrmann descubrió que existían cuatro patrones que explican la forma como el cerebro percibe y procesa la información. El modelo 4Q emerge como una metáfora válida, aceptada internacionalmente, para explicar estos modos cuatro modos de preferencias.

El modelo 4Q (Whole Brain® Thinking) es una metodología diseñada para ayudar a los pensadores, a los equipos y a las organizaciones a lograr los mejores beneficios de las personas que dirijan o de los integrantes que pertenezcan.



Figura 1. Modelo 4Q de preferencias de pensamiento – William Herrmann  
Fuente: <http://herrmannlatin.com/hbdi.php> (consulta: mayo 18 2017)

El modelo reconoce que mientras diferentes tareas requieren diferentes procesos mentales, y diferentes personas tienen diferentes formas de pensar, las organizaciones obtendrán mejores resultados cuando conozcan todo el espectro posible de pensamientos y enfoques que tienen los seres humanos [19].

Todas las personas tienen preferencias de pensamiento, algunas son muy fuertes, otras son más moderadas. Estas preferencias desarrollan ciertos niveles de dominación y no siempre se tiene consciencia de estas preferencias al punto que incluso dos personas pueden tener puntos de vista aparentemente distintos por no saber cuáles son sus preferencias de pensamiento. El modelo 4Q nos recuerda que cada uno tiene acceso a las cuatro formas de pensamiento pero una de ellas domina a las demás cuadrantes cuando sea necesario, cuando requiera adaptarse o cuando necesite tomar ventaja en determinada situación con el ánimo de mejorar el rendimiento y obtener mejores resultados [20]. La figura 1 presenta un esquema gráfico del modelo 4Q referenciado.

Según este modelo el cuadrante A corresponde al pensamiento lógico analítico lo cual permite que las personas con esta preferencia de pensamiento sean apropiadas para recolectar datos, analizarlos, entender cómo trabajan las cosas, juzgar ideas basadas en hechos y también para el razonamiento lógico. En el cuadrante B se ubica el pensamiento secuencial y por lo tanto aquellos que lo tienen como cuadrante preferente son muy hábiles para seguir instrucciones, para realizar trabajos plenamente orientados, para resolver un problema paso a paso así como para organizar e implementar una determinada solución.

El cuadrante C corresponde al pensamiento interpersonal, es el cuadrante social según el cual las personas tienen mayor capacidad para escuchar y expresar ideas, para buscar y encontrar aquello que es importante para las personas, para analizar las características de grupos de interacción y, en muchos casos, incluso para liderarlos. El cuatro cuadrante es el cuadrante D o imaginativo. En este cuadrante se ubican a las personas que son capaces de observar el paisaje y no se detienen a mirar solamente un árbol, toman la iniciativa y asumen retos por ellos mismos, son mucho más visuales y tienen un

pensamiento que tiene un alto componente metafórico, poseen la capacidad de resolver creativamente los problemas y tienen un pensamiento que se distingue a largo plazo por sus características [21].

La enseñanza de la programación se ha ido constituyendo en el eje central de diferentes programas de formación no solamente por la necesidad de conocer y capitalizar las capacidades de los dispositivos modernos y aprovechar sus características, desde adentro, sino porque al incorporar a la solución de problemas una lógica que no es la nuestra, se fortalece nuestra lógica humana, dispersa, difusa y deliberativa y, por momento, incluso, imprecisa [22]. La enseñanza y el aprendizaje de la programación de computadores es la base de programas de formación profesional como la Ingeniería de Sistemas, según su enfoque curricular, en la cual se pretende concebir soluciones que permitan resolver problemas de la sociedad a partir de las capacidades que ofrece la tecnología moderna y desde un enfoque sistémico que permita ver el contexto completo de una determinada situación y no solamente una determinada situación problemática [23].

El aprendizaje de la programación pasa por tres instancias: el aprendizaje de la matemática que subyace a la programación, el aprendizaje de la lógica que posibilita la programación y el aprendizaje de la tecnología que cristaliza la programación [24]. Sin temor a equívocos, el modelo matemático que subyace a la programación se ha ido convirtiendo en un tema cada vez menos puesto en escena toda vez que la tecnología, con sus diferentes formas, cautiva a un nivel tal que termina seduciendo más la aplicación que el estudio y apropiación de los fundamentos desconociendo que la tecnología es transitoria mientras que las bases matemáticas son mucho más duraderas.

La lógica de programación se fundamenta en la apropiación de conceptos que, sin ser naturales en el ser humano, son los que permiten que se pueda hacer que un dispositivo logre, con gran eficiencia, lo que nosotros podríamos lograr pero si contamos con tiempo suficiente y si se nos acepta el permanente riesgo de cometer errores [25]. La tecnología asociada a la programación pasa por el filtro del conocimiento y apropiación de los lenguajes de programación, que es la instancia que más seduce particularmente a los jóvenes de hoy, de manera que termina buscándose en los cursos de programación un aprendizaje que puede ser efímero y cuyas bases se resienten cuando la tecnología cambia.

### 3. Metodología

Tal como ya se expuso en la introducción del presente artículo, esta investigación se desarrolló con los estudiantes del curso Programación II de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Tecnológica de Pereira durante los semestres I 2014, II 2014, I 2015, II 2015, I 2016 y II 2016. Para poder obtener resultados que se pudieran comparar y permitieran realizar inferencias confiables, desde el punto de vista investigativo, cada grupo de estudio se dividió en dos subgrupos: un subgrupo conformado por estudiantes que se categorizaron claramente a la luz de la categorización que provee el modelo 4Q de preferencias de pensamiento y en los cuales, a partir del diálogo y la interacción con ellos, se han podido identificar claramente las

características de cada cuadrante dominante en los estudiantes. El otro subgrupo correspondió a estudiantes cuyo desempeño académico se analizaría de manera independiente de forma que se pudiera imitar, in situ, el método tradicional de enseñanza de la programación.

Durante cada semestre se hicieron tres evaluaciones escritas y cada una se asoció con un taller también escrito, de forma que cada nota parcial se lograra por la ponderación entre la evaluación escrita y el taller realizado. El peso porcentual de cada evaluación parcial fue del 20%. La evaluación final tuvo un peso porcentual de 30% y el 10% restante (para completar el 100% de la nota definitiva) consistió en una nota 5.0 que se asignó a cada estudiante como elemento motivacional que le fue anunciado desde la primera clase y cuyo efecto fue inmediato.

En la 1ª evaluación escrita y 1º taller se organizaron grupos de 4 estudiantes; en la 2ª evaluación escrita y 2º taller se organizaron grupos de 3 estudiantes teniendo en cuenta que algunos tuvieron que trabajar, por razones de la matemática de distribución, en grupos de 4 estudiantes como en las primeras pruebas. Es de anotar que se procuró al máximo que cada grupo, en las segundas pruebas, tuviera 3 estudiantes. En la 3ª evaluación escrita y 3º taller se organizaron grupos de 2 estudiantes (es decir, parejas) para lo cual se le permitió a los estudiantes que escogieran libremente un compañero de aquellos con los que había trabajado en el grupo de 4 personas.

La evaluación final se realizó de manera individual. Por su parte, los estudiantes independientes presentaron todas las pruebas escritas y los talleres de manera individual. La Tabla 1 presenta la distribución de los estudiantes en los diferentes grupos.

La Tabla 2 presenta la distribución detallada de los estudiantes de acuerdo a lo planteado en el diseño de la investigación y en consonancia con la reorganización de cada prueba.

Tabla 1.  
Distribución de los estudiantes

Año	Sem	Tot Ests	Est Indep	Est 4Q	Grp 4Q
2014	I	19	7	12	3
	II	22	6	16	4
2015	I	23	7	16	4
	II	21	9	12	3
2016	I	20	8	12	3
	II	21	9	12	3

Fuente: Elaboración propia

Est 4Q: Estudiantes que formaron parte de los grupos 4Q

Grp 4Q: Cantidad de grupos 4Q

Tabla 2.  
Distribución detallada de estudiantes

Año	Sem	1º P (4 est)	Grupos 2º P (3 est)	3º P (2 est)	EF (1 est)
2014	I	3	4	6	12
	II	4	4 + 1(4)	8	16
2015	I	4	4 + 1(4)	8	16
	II	3	4	6	12
2016	I	3	4	6	12
	II	3	4	6	12

Fuente: Elaboración propia

Tal como se explicó, en este mismo numeral, la nota definitiva en cada curso se obtuvo de la siguiente forma: la nota que se obtenía de la prueba escrita y del taller tenía cada una un peso de 10%. La nota del examen final tenía un peso porcentual del 30% y un 10% que equivalía a una nota de 5.0 con carácter motivacional. De esta forma, la nota final se obtuvo así:

1° parcial (10%)	+	1° taller (10%)	=20%
1° parcial (10%)	+	1° taller (10%)	=20%
1° parcial (10%)	+	1° taller (10%)	=20%
Evaluación Final			=30%
Nota Motivacional (5.0)			=10%
			-----
<b>Total</b>	<b>→</b>		<b>100%</b>

Las evaluaciones escritas se trabajaron desde la perspectiva del aprendizaje cooperativo y los talleres se trabajaron desde la perspectiva del aprendizaje colaborativo. Siempre se hicieron primero los talleres y, al final del período, se realizaron los parciales. A todos los estudiantes, los que pertenecieron a los grupos 4Q y los independientes, se les asesoró y se les acompañó con la misma voluntad y por todos los medios posibles. La exposición magistral y las explicaciones fueron las mismas para todos.

#### 4. Resultados

La Tabla 3 presenta el promedio de las evaluaciones de las pruebas escritas y los talleres así como de la evaluación final obtenida tanto por los estudiantes que participaron en los grupos 4Q como por los estudiantes que trabajaron de manera independiente. Debe tenerse en cuenta que las notas obtenidas tanto por las pruebas escritas como por los talleres de los grupos 4Q se asignaron a cada grupo completo por lo tanto el cálculo de su promedio se hace sobre la cantidad de grupos que participaron dentro de cada evaluación escrita y cada taller. Debe recordarse que la nota parcial se obtiene obteniendo la semisuma de la evaluación escrita y el taller.

Debe recordarse que la nota definitiva que aparece es el 90% pues el otro 10% corresponde al valor 5.0 que se reconoció a todos los estudiantes como factor motivacional. Al finalizar cada curso se solicitó una opinión anónima de cada estudiante y solo se le pidió que escribiera si había participado de la investigación como estudiante independiente o como estudiante integrante de un grupo 4Q. Los resultados se clasificaron como:

- Altamente Favorables (AF) aquellos estudiantes que manifestaron gran complacencia por la participación en el proceso y que consideran que aprendieron a programar
- Favorables (F) aquellos estudiantes que manifestaron complacencia en la participación en el proceso y consideran que no aprendieron a programar tanto como esperaban
- Poco Favorables (PF) aquellos estudiantes que consideraron que su curso de programación estuvo dentro de los cauces normales y que su aprendizaje estuvo dentro de lo normal
- Desfavorables (DF) aquellos estudiantes que consideran que no les gustó la metodología en la cual le correspondió participar y que creen que hubieran aprendido mucho más si hubieran estado en el otro grupo
- Altamente Desfavorables (ADF) aquellos estudiantes que no les gustó el grupo en el cual les tocó y que creen que no aprendieron nada de programación.

Tabla 3.  
Promedio de notas obtenidas

Año	S	Grp	1° P	2° P	3° P	EF	ND*	Dif.
2014	I	Indep	2.5	2.7	3.1	3.4	2.68	1.20
		4Q	4.5	4.3	4.3	4.2	3.88	
	II	Indep	3.1	3.0	3.4	3.2	2.86	0.94
		4Q	4.6	4.3	4.1	4.0	3.80	
2015	I	Indep	3.4	3.5	3.7	3.9	3.29	0.69
		4Q	4.7	4.5	4.4	4.2	3.98	
	II	Indep	3.5	3.5	3.6	3.6	3.20	0.66
		4Q	4.6	4.5	4.2	4.0	3.86	
2016	I	Indep	3.6	3.7	4.0	4.1	3.49	0.52
		4Q	4.7	4.6	4.3	4.3	4.01	
	II	Indep	3.3	3.5	3.8	3.9	3.29	0.53
		4Q	4.5	4.4	4.2	4.0	3.82	
Promedios		Indep	3.23	3.31	3.60	3.68	3.135	0.75
		4Q	4.60	4.43	4.25	4.11	3.891	

Fuente: Elaboración propia  
ND\* = Nota Definitiva (90%)

Tabla 4.  
Opinión de los estudiantes

Año	S	Grp	AF	F	PF	DF	ADF	Ests	Tot
2014	I	Indep	0	2	2	3	0	7	19
		4Q	8	3	1	0	0	12	
	II	Indep	0	2	2	2	0	6	22
		4Q	11	4	1	0	0	16	
2015	I	Indep	0	0	3	3	1	7	23
		4Q	7	5	3	1	0	16	
	II	Indep	0	1	2	5	1	9	21
		4Q	7	3	2	0	0	12	
2016	I	Indep	1	1	5	1	0	8	20
		4Q	8	2	1	1	0	12	
	II	Indep	0	0	3	3	3	9	21
		4Q	9	1	1	1	0	12	
Totales		Indep	1	6	17	17	5	46	126
		4Q	50	18	9	3	0	80	

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4 presenta un resumen de los resultados obtenidos luego de tabular las respuestas de los estudiantes.

Los estudiantes que participaron en los grupos 4Q plantearon como grandes ventajas la posibilidad de aprender de otros compañeros, la opción que tienen de asumir responsabilidades dentro de un grupo al momento de hacer los parciales, la interacción con los compañeros en el desarrollo de los talleres y la cohesión que se genera entre los mismos estudiantes incluso cuando el grupo, que comienza con 4 integrantes, va disminuyendo. Por su parte los estudiantes que participaron en la investigación de manera independiente denotaron más las desventajas entre las que se cuenta la orfandad que perciben al no poder recurrir a otra persona que no sea el profesor aunque asumen que, trabajando en solitario y por su propia cuenta, consideran que es posible que puedan aprender más, según sus propias palabras. Precisamente esta investigación busca determinar si eso es posible o no.

#### 5. Discusión

La adopción del modelo 4Q en el desarrollo de este proyecto de investigación obedece a la necesidad de tener unos

elementos de juicio con rigor científico que permitan categorizar a los estudiantes para organizarlos en el formato de grupos de trabajo. Normalmente la utilización de esta estrategia en el aula es aleatoria pues el docente deja que los estudiantes se organicen con los compañeros que tengan al lado. Si bien, esta es la forma como normalmente se ha hecho, debe admitirse que la organización del aula en grupos de trabajo requiere una participación más activa del docente.

Existen diferentes modelos a los cuales se puede acudir al momento de organizar grupos de trabajo dentro del aula. El modelo 4Q de preferencias de pensamiento pareciera permitir una identificación de los estudiantes de manera que se puedan complementar sus habilidades y sus capacidades en pro del logro de unos determinados objetivos de aprendizaje. En este estudio, por razones propias de la carrera Ingeniería de Sistemas, se consideró que los cuatro cuadrantes dominantes generan perfiles que son de alta relación no sólo con el perfil profesional y laboral de los Ingenieros de Sistemas sino con las competencias que deben desarrollarse para su desempeño. De allí que unir a un Lógico con un Secuencial, un Social y un Imaginativo, hablando en términos del modelo en mención, lleva a pensar que pueden complementarse y lograr objetivos comunes para beneficio del grupo y para beneficio de cada uno.

Se ha acudido también a los principios establecidos en los enfoques de aprendizaje cooperativo y aprendizaje colaborativo desde dos perspectivas: la realización de los talleres y el desarrollo y resolución de las pruebas escritas. En la realización de los talleres se ha pensado en el aprendizaje colaborativo dado que, en éste, se establecen unas reglas mínimas de trabajo que comienzan por la designación de un líder dentro del grupo cuya responsabilidad es conducir el proceso de resolución de los problemas que se planteen.

Dado que un taller pretende que los estudiantes, mutuamente, se colaboren para que aprendan a resolver problemas desde la óptica de la lógica computacional, complementado con el debido acompañamiento del docente, se ha considerado que esta es la estrategia adoptar. Debe acotarse que, a pesar de que se cuente con un líder dentro del grupo en la conducción de la resolución de talleres, todos los estudiantes tienen la posibilidad de preguntar, participar, cuestionar y proponer soluciones dentro del marco de la construcción de las respuestas del taller.

Por su parte, el aprendizaje cooperativo ha sido la estrategia que se ha adoptado en la realización de las pruebas escritas dado que, como estas tienen un tiempo un poco más limitado y más preciso, la participación activa de todos es muy importante y eso invita a pensar que la labor del líder, tan útil en lo colaborativo, podría no ser tan efectiva en lo cooperativo. De allí que, siempre se acudió primero a resolver talleres y, posteriormente finalizando lo que podríamos llamar como período, se realizaron las pruebas escritas con asignación específica de funciones de cada uno de los participantes. Es de anotar que la asignación de funciones en las pruebas escritas implica la aceptación de responsabilidades en el desarrollo de la construcción de respuestas de ellas.

La diferencia fundamental entre lo colaborativo y lo cooperativo es que en la primera se pueden delegar funciones a partir de la opinión de un líder quien es el que conduce el proceso; la segunda se basa en la participación activa de todos

los integrantes del grupo de manera que cada uno se haga responsable de determinadas partes en la actividad que, para este caso, son las pruebas escritas. Se notó en los estudiantes gran aceptación del modelo 4Q cuando se les explicó y cuando se les ubicó dentro de algunos de los cuadrantes dominantes. De la misma manera se notó complacencia de la conformación de los grupos y, a partir de la observación directa, se percibió un ambiente de alta camaradería y colaboración tanto en los talleres como en las pruebas escritas.

La reducción de los grupos, en la medida en que avanzaban las semanas y se adoptaban nuevos temas, nuevos talleres y nuevas pruebas escritas, se pensó como una forma de ir logrando que los estudiantes se fueran desprendiendo, si el término es posible, de sus respectivos líderes en cada grupo 4Q y fueran asumiendo responsabilidades propias a partir de lo visto en las primeras semanas. Los grupos conformados por los cuatro perfiles preferentes se notaron bastante activos y muy sincronizados. Los grupos conformados por solo tres perfiles no tuvieron la armonía de colaboración y cooperación que se esperaba.

Las parejas de trabajo trabajaron muy bien y cada par de estudiantes se sintonizaron de una forma bastante llamativa. Es de anotar que fue esta la única oportunidad en la cual se le permitió al estudiante escoger a su pareja tomando como referencia a los compañeros con los cuales interactuó en el grupo inicial. La presentación de la evaluación final de manera individual fue, para los estudiantes que venían de grupos 4Q, una oportunidad de probarse a sí mismos qué tanto habían aprendido. Los resultados cuantitativos se evaluarán más adelante.

Se quiso mantener un peso porcentual equitativo entre las evaluaciones parciales y se le quiso conceder un peso mayor a la evaluación final dado que en esta prueba no sólo se evalúan todos los temas vistos durante el semestre sino que se realiza de manera individual tanto para los estudiantes que integraron los grupos 4Q como los estudiantes que, desde el principio, trabajaron individualmente. El elemento motivacional se concedió a través de un 10% de la nota definitiva que, para todos los estudiantes, correspondió a una nota de 5.0. Para lograr dicho efecto motivacional, se anunció esto a los alumnos desde el primer día de clase.

El promedio de las notas obtenidas en cada evaluación y su progresión en el tiempo mantienen algunos elementos constantes que referiremos a continuación. De una parte las notas de los estudiantes independientes, sin excepción, en la medida en que avanzaban en el tiempo se iban incrementando posiblemente debido al gran esfuerzo individual que hacía cada estudiante independiente y que tal vez tiene que ver con la solidez de la fundamentación en las primeras semanas pues en éstas también el estudiante estaba solo. En el promedio de las notas de los grupos 4Q y de sus derivados, se nota que las primeras notas son significativamente altas aunque con el paso del tiempo se van disminuyendo en la medida en que se avanza entre las evaluaciones parciales. Esta constante también se mantuvo durante todos los semestres en los cuales se realizó la investigación tal como se muestra en la Tabla 3.

La diferencia de las notas siempre fue positiva a favor de los estudiantes de los grupos 4Q. De la misma manera la nota más baja de los grupos 4Q siempre fue más alta que la nota más alta

de los estudiantes independientes. También se observa en la nota definitiva, de la cual se excluyó el 10% motivacional por ser la misma nota para todos, que siempre el promedio de los estudiantes 4Q es más alto que el promedio de los estudiantes independientes. Eso pareciera indicar que, al enfrentarse a la misma evaluación, los estudiantes que participaron en los grupos 4Q parecieran tener más claros tanto los conceptos como su aplicación, que los que trabajaron durante todo el semestre de manera independiente. Es de anotar que los talleres, las pruebas escritas y la evaluación final siempre fue la misma para todos los estudiantes cualquiera que fuere el subgrupo con el cual hubieren trabajado.

En un análisis vertical, se nota también que el promedio comparativo entre las diferentes evaluaciones parciales es mucho más alto en los estudiantes que participaron en los grupos 4Q que en los estudiantes que trabajaron de manera independiente. Debe anotarse que, a pesar de que las notas no siempre reflejan el resultado del conocimiento, no se puede desconocer que estando inmersos en las mismas clases magistrales, los mismos talleres y las mismas pruebas escritas, las diferencias en las notas sugieren conclusiones que saltan a la vista y que, a partir de la observación del docente, dan fe de que los estudiantes que participaron en grupos 4Q fueron aprendieron mejor los conceptos teóricos, y su aplicación, de la lógica de programación.

La opinión de los estudiantes que participaron en los grupos 4Q y el balance que éstos hacen del proceso investigativo es Altamente Favorable (AF) tal como se muestra en la Tabla 4. Los estudiantes independientes tienden, en sus opiniones, a ser Poco Favorables (PF) y Desfavorables (DF) en contraposición con la opinión de los estudiantes que pertenecieron a los grupos 4Q. Es de anotar que la interacción, la posibilidad de despejar dudas con pares de su mismo nivel, la opción de participar activamente y enunciar sus opiniones libremente son algunas de las razones que han esgrimido los estudiantes 4Q para destacar las ventajas de la estrategia adoptada para el desarrollo de esta investigación.

## 6. Conclusiones

La adopción de enfoques como el aprendizaje colaborativo y el aprendizaje cooperativo permiten que se fortalezca la relación e interacción entre estudiantes y, al tiempo, posibilita la relación pedagógica entre el docente y sus alumnos a la luz de las dudas que se presentan bien sean en conjunto o bien de manera individual. El hecho de que un estudiante pueda contar con un par académico de su mismo nivel pareciera permitir un camino bastante llano para exponer sus dudas incluso en el caso en que se mejore notoriamente la interacción alumno profesor.

El modelo 4Q es una forma muy interesante de conocer un poco más a los estudiantes en su visión del mundo y en la forma como lo leen y como lo interpretan. Es posible que algunos cuadrantes preferentes tengan mayor sintonía que otros pero todo pareciera indicar que conformar grupos de trabajo basados en este modelo es una estrategia que enriquece a cada uno y, además, fortalece el concepto de “grupo de trabajo” a la luz de una temática específica y de unos objetivos de aprendizaje definidos.

La Ingeniería de Sistemas se nutre de los cuatro perfiles del modelo 4Q dado que en algún momento el egresado ha de tener una alta componente lógica (para buscar soluciones), una alta componente secuencial (para implementarlas), una alta componente social (para compartirlas) y una alta componente imaginativa (para encontrar nuevos caminos de aplicación). Debe anotarse que cada uno de los perfiles del modelo 4Q se complementan y han de aflorar en momentos determinados. Esto permite pensar en que podría ser este modelo una buena base para establecer las líneas de formación y profundización en un programa como Ingeniería de Sistemas y, a partir de un análisis científico, poder orientar a los estudiantes por el camino que mejor coincida con su cuadrante preferente, aunque este es tema de otro artículo.

La realización de pruebas escritas y talleres en grupos que cada vez se reducen hasta llegar a la individualidad es una estrategia que, a decir de los mismos estudiantes, ha gustado mucho pues poco a poco y en la medida en que los grupos van disminuyendo en su cantidad de integrantes, cada estudiante se va encontrando en situaciones evaluativas en las cuales son sus propias responsabilidades en unión con sus capacidades las que permiten que se enfrente solo y demuestre lo que ha aprendido. Por esta razón siempre es importante que en estos procesos no falte ni la observación detallada de cada alumno por parte del docente ni la opinión, preferiblemente escrita, por parte de los estudiantes al final del proceso para retroalimentar y tener un camino cualitativo, además de las valoraciones cuantitativas, que permitan ajustar estas investigaciones para poder socializar sus resultados.

La investigación en el aula en programas de ingeniería permite explorar nuevas formas de aprovechar toda la teoría que se deriva de las Ciencias de la Educación y ponerla al servicio de las necesidades de conocimiento de ingenieros en formación. Para ello los ingenieros docentes deben formarse tanto en su conocimiento disciplinar como en estas áreas que son las que proveen los elementos de juicio necesarios, las teorías, estrategias, enfoques y metodologías que permitirán que se alcancen los logros de aprendizaje de sus alumnos por caminos más efectivos y menos complejos.

## Referencias

- [1] Ausubel, D., *Sicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo*. Ciudad de México: Trillas, 1986, 686 P.
- [2] Gonzalez-García, F., Los mapas conceptuales de Novak como instrumentos para la investigación en didáctica de las ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), pp. 148-158, 1992.
- [3] Calvani, A., Connectivism: New paradigm or fascinating potpourri. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, 4(1), pp. 247-252, 2008. DOI: 10.20368/1971-8829/268
- [4] Bruner, J.S., *Actos de significado: Mas allá de la revolución cognitiva*. Madrid: Alianza Editorial. 2009, 130 P.
- [5] Attard, A., Di Ioio, E. and Geven, K., Student centered learning. An insight into theory and practice. Bucarest: Lifelong learning programme - European Community, 2010.
- [6] Ausubel, D., *Psychology of meaningful verbal learning: An introduction to school learning*. New York: Grune & Straton. 1963, 780 P.
- [7] Trejos-Buriticá, O., *Significado y competencias*. Pereira: Papiro, 2013, 130 P.
- [8] Diaz-Barriga, F., *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo*. México: McGraw Hill, 2005, 145 P.
- [9] Bruner, J.S., *Hacia un teoría de la instrucción*. Ciudad de México: Hispanoamericana, 1969, 126 P.



- [10] Bruner, J.S., El proceso de la Educación. Ciudad de México: Editorial Hispanoamericana, 1963, 200 P.
- [11] Bonwell, C. and Eison, J., Active learning: Creating excitement in the classroom. ASHEERIC Higher Education Report No 1(1), 1991. DOI: 10.1177/1052562905283346
- [12] Prince, M., Does active learning work? Journal Engineering Education, 93(3), pp. 223-231, 2004.
- [13] Dooly, M., Constructing knowledge together, en: Dooly, M., Telecollaborative language learning. A guidebook to moderating intercultural collaboration online, Bern: Peter Lang, 2008, pp. 21-45.
- [14] Small, G., El cerebro digital. Madrid: Editorial Urano. 2011.
- [15] Barriga-Arceo, F. y Hernandez-Rojas, G., Estrategias docentes para un aprendizaje significativo: Una interpretación constructivista. Ciudad de México: McGraw Hill Interamericana, 2002, 241 P.
- [16] Martín-Moreno-Cerrillo, Q., Aprendizaje colaborativo y redes de conocimiento. IX Jornadas Andaluzas de Organización y Dirección de Instituciones Educativa, Granada, España, 2004, pp. 55-70.
- [17] Adams, A., Cooperative learning effects on the classroom . Michigan: Northern Michigan University, November 26, 2013.
- [18] Mabrouk, P., Cooperative learning and active learning: Models from the analytical sciences. ACS Symposium series 970, 2007, pp. 34-53.
- [19] Lumsdaine, E. and Lumsdaine, M., Creative solving problem: Thinking skills for a changing world. New York: McGraw Hill, 2005.
- [20] Herrmann, W., Creative brain. New York: The Ned Herrmann Group, 1988, 456 P.
- [21] Herrmann, W., The whole brain. New York: McGraw Hill. 2000, 334 P.
- [22] Trejos-Buriticá, O., La esencia de la lógica de programación. Pereira: Papiro, 2000, 366 P.
- [23] Blanchard, B., Ingeniería de sistemas. Madrid (España): Isdefe, 2000, 256 P.
- [24] Trejos-Buriticá, O.I., Fundamentos de programación. Pereira: Papiro. 2006, 130 P.
- [25] Cooper, D., Locos por la tecnología. México: Editorial Limusa, 2004, 150 P.

**O.I. Trejos-Buriticá**, es Ing. de Sistemas. Esp. en Instrumentación Física. MSc en Comunicación Educativa. PhD en Ciencias de la Educación. Docente de planta, de la Facultad de Ingenierías, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Ex director de Ingeniería de Sistemas y Computación. Ex decano Facultad de Ingenierías, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. ORCID: 0000-0002-3751-6014

# Una mirada a los MOOC desde la oferta de universidades colombianas

Claudia Patricia Baloco-Navarro <sup>a</sup> & Carmen Tulia Ricardo-Barreto <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia. [claudiabaloco@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:claudiabaloco@mail.uniatlantico.edu.co)

<sup>b</sup> Instituto de Estudios en Educación, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia. [cricardo@uinorte.edu.co](mailto:cricardo@uinorte.edu.co)

**Resumen**— El e-learning ha tomado un posicionamiento importante en el ámbito de la educación superior como una alternativa de formación innovadora. Uno de los desarrollos más relevantes en los últimos cinco años han sido los Cursos Masivos en línea, conocidos por su acrónimo, en inglés: Massive Open Online Courses (MOOC). Este documento inicia con la definición de conceptos y evoluciones de los MOOC, identificando las plataformas más exitosas en educación. Seguidamente, se revisa y analiza la oferta de MOOC como una estrategia educativa de universidades colombianas. Finalmente, se muestra la relevancia de este fenómeno, como una alternativa académica para la educación superior, teniendo en cuenta las plataformas, enfoque pedagógico, contenido y tendencias desde la oferta de cursos MOOC. La metodología para el desarrollo del estudio es de tipo exploratorio y secuencial, que combina métodos bibliográficos y procedimientos estadísticos para el análisis de información.

**Palabras Clave** — Innovación; e-learning; educación; tendencias.

Recibido: 17 junio de 2017. Revisado: 22 de septiembre de 2017. Aceptado: 10 de octubre de 2017.

## A View to the MOOC from the offer Colombian universities

**Abstract**— E-learning has taken an important position in the field of higher education as an alternative of innovative training. One of the most relevant developments in the last five years has been the Massive Open Online Courses (MOOC), known by its acronym. This document begins with the definition of concepts and evolutions of the MOOC, identifying the most successful platforms in education. We then review and analyze the MOOC offer as an educational strategy of Colombian universities. Finally, we show the relevance of this phenomenon as an academic alternative for higher education, considering the platforms, pedagogical approach, content and trends from the offer of MOOC courses. The methodology for the development of the study is exploratory and sequential, combining bibliographic methods and statistical procedures for the analysis of information.

**Keywords** – Innovation; e-learning; education; trends.

## 1. Introducción

Los continuos descubrimientos e innovaciones en materia científica y tecnológica han ubicado a la educación en escenarios de cambios inminentes, no solo desde la perspectiva del rol de las instituciones de educación y su gestión de conocimientos, sino en la manera de interactuar con los estudiantes y de desarrollar los procesos de enseñanza y

aprendizaje. Es así como estas continuas innovaciones tecnológicas y descubrimientos científicos, conducen de una forma u otra a actualizar contenidos, currículos, metodologías y metas educativas; desafiando a la educación con retos exigentes y progresivos donde es necesario conocer las tendencias actuales que lideran procesos de cambios educativos a nivel mundial. Entre las principales necesidades están las de brindar mayores oportunidades y ampliar el acceso a la educación superior con una reducción de costos. Son muchos los investigadores que afirman que los MOOC proporcionan una nueva manera de abordar estos desafíos, considerando que los MOOC son dinámicos y continuarán evolucionando como cursos abiertos, masivos y en línea [1]. Cabe resaltar que el fenómeno MOOC tiene su punto de partida en 2012 y se proyecta como un área emergente de investigación [2].

Durante décadas, las universidades han ofrecido cursos a estudiantes que no están en el campus. Se han ofrecido por correspondencia, por la radio, por televisión y finalmente por internet. El aprendizaje a distancia, ha sido apoyado por escuelas que buscan ampliar su alcance y atender a los estudiantes fuera del campus, y una de las innovaciones más recientes a este respecto han sido los MOOC [3]. “La educación superior está asociada a nuevos paradigmas de cómo se crea el conocimiento, como se apropia, como se comparte, como se actualiza y sin duda como se usa y para este último, la innovación” [4]. Sin duda estos paradigmas reorientan constantemente las propuestas educativas de las universidades, de manera que se debe continuar con los esfuerzos ingentes a fin de mejorar el acceso y garantizar la calidad de la educación, teniendo en cuenta que el acceso por sí solo, no es suficiente, es preciso hacer mucho más [5].

De acuerdo con lo anterior, en este estudio, se pretende analizar desde un punto de vista formativo, las potencialidades de los MOOC y su uso en actividades educativas a partir de un enfoque exploratorio. Se inicia con una breve recopilación de diferentes perspectivas de autores sobre los MOOC, se analizan diferentes miradas, experiencias y propuestas para identificar la conceptualización de los MOOC en la educación superior. Seguidamente, se analiza la evolución del concepto y la aplicación en diferentes áreas del conocimiento, para llegar a la identificación de las Universidades en Colombia que se han

**Como citar este artículo:** Baloco-Navarro C.P. and Ricardo-Barreto, C.T., Una mirada a los MOOC desde la oferta de universidades colombianas. Educación en Ingeniería, 13(25), pp. 37-43, Febrero, 2018.

lanzado a ofrecer MOOC en diferentes plataformas. Finalmente, se analizan las tendencias de los contenidos de los MOOC desde la oferta realizada por las universidades en Colombia.

De acuerdo con lo anterior y con las investigaciones consultadas, se pretende dar respuestas a preguntas como: ¿Cuál es la tendencia de los MOOC en contenidos, uso de plataformas y enfoque educativo, en las Universidades colombianas? ¿Qué representan los MOOC para las Universidades Colombianas? Las respuestas a estas preguntas son importantes para entender cómo las MOOC pueden expandir el acceso a la educación superior a un menor costo.

## 2. Antecedentes

Para definir un MOOC nos apoyamos en su acrónimo, en inglés: “Massive Open Online Courses” que, al traducirlo al español, “Cursos en Línea Masivos y Abiertos” encontramos el término COMA. Sin embargo, el vocablo MOOC se ha generalizado en los países de habla hispana así:

un MOOC debe presentar características como: recurso educativo que tiene cierta semejanza con una clase, con un aula; tiene unas fechas de inicio y finalización; cuenta con mecanismos de evaluación; es online; es de uso gratuito; es abierto a través de la web, y no tiene criterios de admisión y además permite la participación interactiva a gran escala de cientos de estudiantes [6].

Los cursos en línea, masivos y abiertos se ofrecen en línea a cualquier estudiante con un computador y una conexión a Internet. Nacieron en las universidades de élite de los Estados Unidos, incluyendo el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), la Universidad de Harvard y la Universidad de Stanford. Los MOOC no son otra cosa que una forma evolucionada de la modalidad en línea, abierta y masiva de la educación a distancia [7].

Los MOOC libres y abiertos, sin límite de inscripción, tienen el potencial de multiplicar grandemente su número de participantes y llegar a miles de estudiantes, lo que significa que los MOOC pueden ser la forma más accesible de educación superior jamás concebida. A pesar de que el término MOOC fue acuñado en 2008, éstos comenzaron a recibir una atención significativa en 2012 cuando proveedores como Udacity y Coursera, se fundaron y comenzaron a ofrecer cursos en este formato [8].

Los MOOC, se han presentado bajo una diversidad de organización y de diseño, que no solo implican visiones diferentes sobre lo que debe ser el proceso formativo, sino también respecto a lo que en él mismo deben hacer los estudiantes, es decir, las actividades a realizar, las formas en que serán evaluadas, lo que deben hacer los estudiantes y el profesor, y las maneras de diseñar los contenidos. Inicialmente y en la actualidad, algunos investigadores han distinguido entre dos tipos de MOOC: los cMOOCs y los xMOOCs. Los primeros muy ligados al nuevo enfoque pedagógico conectivista, con el cual, Siemens [9], pretendía explorar y experimentar con nuevas formas de interacción en línea, no estando especialmente interesado en si ésta era una fórmula para ayudar a las universidades a mejorar su docencia, sino en

desarrollar propuestas en el campo del aprendizaje y la enseñanza. Por otra parte, los xMOOC (extensión MOOC), tipificados por cursos instructivos ofrecidos por Coursera, Udacity y edX, muestran un enfoque de aprendizaje más tradicional de la duplicación de conocimientos a través de presentaciones en video y breves pruebas y exámenes [10].

La plataforma edX lanzada también en 2012 por la Universidad de Harvard y el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), estuvo dirigida por un profesor de computación del MIT, quien ofreció sus primeros siete cursos en octubre de 2012, uno de ellos con 53.000 inscripciones de estudiantes y para junio de 2013 ya contaba con 28 socios [11].

El crecimiento de Coursera en muchos aspectos ha sido notable: ha acumulado más de 26 millones de usuarios registrados en sus diferentes cursos y en otras ofertas: éstos incluyen 2.000 y 180 especializaciones. También ofrecen Maestría en negocios, informática, innovación y contabilidad, y cursos para empresas y organizaciones sin fines de lucro. En el 2016 contaba con 150 socios universitarios [12].

MiríadaX, es otra plataforma importante lanzada en 2013, en idioma español y considerada la primera en iberoamericana. Nació de la iniciativa conjunta entre Telefónica Educación Digital y Universia; para el 2016 contaba con 2 millones de alumnos, con un crecimiento superior a las cien mil inscripciones mensuales. MiríadaX busca la democratizar el acceso al conocimiento, ofreciendo en abierto una amplia oferta formativa a más de 600 millones de iberoamericanos; y reducir los costos de formación generando comunidades de aprendizaje colaborativo internacional que eliminan las fronteras del conocimiento [13].

La innovación en las universidades latinoamericana y del mundo no es sólo una cuestión de TIC, de usar o no nueva plataforma tecnológica o el uso recursos educativos en las actividades académicas; se trata más bien de que la universidad repense su visión y misión respecto a sus principios misionales de docencia, investigación y extensión, y por esa vía decida el papel que juega la tecnología para alcanzar este propósito [14]. Los esfuerzos más interesantes y quizás más sostenibles serán aquellos que no están intentando reemplazar a las instituciones educativas existentes, sino aquellas que están proporcionando una nueva oportunidad a personas que de otra manera no tendrían tiempo, logística o dinero para aprender algo de otra manera.

## 3. Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos se ha llevado a cabo una metodología, que combina métodos bibliográficos con la recolección de datos directamente de las fuentes. Al principio, se realizó un análisis documental de los artículos de revistas científicas, blogs corporativos y personales, y revistas de divulgación. A través del análisis de dichas publicaciones y documentos, se han sintetizado las principales líneas de investigación sobre los MOOC y las plataformas proveedoras para identificar los conceptos planteados por los autores sobre el tema de investigación. Este estudio es de carácter exploratorio en primera instancia, para obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más

completa respecto a contextos particulares, o indagar nuevos problemas [15].

La extracción y el análisis de los datos del presente trabajo se ha realizado a través de la información disponible en las páginas web de cada una de las plataformas estudiadas, a saber: Coursera, EdX, Miríada X y FutureLearn. El procedimiento ha sido el siguiente: La primera fase de obtención de datos ha consistido en el vaciado de información relativa a los MOOC impartidos en cada una de las plataformas, haciendo las consultas relativas a universidades de Colombia y analizando las propuestas de cada una de ellas. Una vez recopilada la información, se han dispuesto los datos en una tabla con formato distribuidos en columnas para proceder a su tratamiento por medio de filtros, gráficas y otras operaciones para extraer toda la información posible y sacar conclusiones en relación con los objetivos planteados.

#### 4. Los MOOC en Colombia

Al realizar el recorrido por los MOOC es mucho lo que podemos encontrar, sin embargo, se presentan a continuación los hallazgos más significativos. Los MOOC surgen en el 2008, sin embargo es hasta el 2012 cuando se realiza el lanzamiento oficial a la comunidad. Luego en el 2013 se presenta el mayo pico de expectativas sobredimensionadas. En el 2014 surge un gran abismo de desilusión porque no se cumplen muchas de las expectativas pronosticadas por investigadores y la gran decepción giro en torno a los porcentajes de desertores de estos cursos lo cual confundía y sigue confundiendo a sus creadores. El entusiasmo estuvo más sereno y muchos investigadores opinan que no es todo tan maravilloso y que quizás los MOOC deberían ser meditados. Los reportes mostraban altas tasas de abandono, con un promedio del 95% de los participantes en un curso, así como otros problemas pedagógicos relacionados con la evaluación y retroalimentación [16].

De acuerdo con la curva de Gartner, Inc. and/or its affiliates, los MOOC se encuentran en este momento en “Rampa de consolidación”, es decir, experimentando o investigando para entender los beneficios que puede proporcionar la aplicación práctica de estos cursos en la educación o en otras áreas. Según [17] se puede decir entonces que aún falta madurez, más recorrido y muchas investigaciones que confirmen la llegada a la adopción dominante, cuando se demuestran y aceptan los beneficios reales de este fenómeno, no solo en la educación sino en otras áreas.

Este comportamiento de acuerdo con la curva de Garner se confirma en la medida de las expectativas observadas, por ejemplo, periódicos como “The New York Times” le concedían a los MOOC una publicación en el 2012, “El año de los MOOC”, sin embargo, dos años después, el 29 de octubre del 2014, publicaron otro título, “Desmitificando a los MOOC”, [18]. Es este el tiempo para analizar desde muchos puntos de vista el éxito o fracaso de esta modalidad formativa. No obstante, las ofertas de MOOC continúan y las investigaciones en torno al tema también. Buscan situarse dentro de la educación superior como una alternativa de mayor flexibilidad y cobertura, Los MOOC siguen acumulando en Internet un enorme repositorio de recursos educativos abiertos.

Por otra parte, las Universidades Colombianas no han sido indiferentes a estos recursos y se han lanzado a ofertar MOOC en variadas plataformas. Cada Institución con un objetivo diferente, pero en común buscando satisfacer una demanda local para darse a conocer a nivel internacional. Con una apuesta formativa basada en actividades, y propuestas que tienen como base procesos de enseñanza aprendizaje mediados por la tecnología y cumpliendo requerimientos de dimensiones de la formación masiva.

De acuerdo con la diversidad de cursos propuestos desde universidades colombianas, la cual va muy relacionada con demandas locales, atributos culturales y demográficos. A partir de esta oferta analizaremos aspectos planteadas alrededor de la pregunta: ¿Cuál es la relevancia de este fenómeno como una alternativa académica en la educación superior?

#### 5. Oferta de MOOC en Colombia

La oferta de cursos masivos y abiertos en Colombia está en aumento y es nuevo el panorama educativo que se vislumbra en los últimos años, proponiendo opciones y retos a la enseñanza y al aprendizaje con las características básicas de masividad, ubicuidad y gratuidad. En estos cursos se da una congregación de mediaciones tecnológicas y pedagógicas aún por indagar en todas sus dimensiones.

Teniendo en cuenta las consultas sistemáticas en las plataformas más estables que actualmente ofrecen MOOC, se ha identificado el crecimiento de la oferta de cursos de universidades colombianas y el contenido que comparte con todos los interesados en los cursos. Este estudio se ha enfocado en explorar las tendencias de temas o contenidos ofertados desde universidades en Colombia y los componentes pedagógicos básicos que posee la oferta de MOOC. Para el desarrollo del trabajo se ha realizado el estudio de tipo exploratorio y secuencial que analiza las 4 plataformas en las cuales se identifican universidades colombianas con un total de 54 cursos MOOC. Además, en este caso no se han tomados en cuenta, las ofertas de Universidades con plataformas propias que buscan cumplir con las características de los MOOC.

Con la información consultada en plataformas y sitios web de universidades se lleva a cabo un análisis de contenido en su vertiente cualitativa, mientras que con la cuantitativa se mostrará en un próximo documento un análisis estadístico comparando con otros países de Latinoamérica y el caribe “la oferta de MOOC en Latinoamérica”. Las plataformas consultadas son: Coursera, MiríadaX, edX y FutureLearn. En estas plataformas se han identificado las siguientes universidades las cuales al menos han ofertado un curso en el periodo entre enero de 2013 y junio de 2017. Corporación Universitaria Minuto de Dios, Pontificia Universidad Javeriana, Universidad Autónoma de Occidente, Universidad de Ibagué, Universidad de los Andes, Universidad del Rosario, Universidad EAFIT, Universidad El Bosque, y Universidad Tecnológica de Pereira.

En la Tabla 1, se referencian los títulos de los cursos MOOC ofertados por estas instituciones en los últimos tres años: Ver Tabla 1. Cursos MOOC en Colombia

Tabla 1  
Cursos MOOC en Colombia

Universidad	Plataforma	Nombre del curso
Corporación Universitaria Minuto de Dios	Miríada X	Paz y No-violencia
Corporación Universitaria Minuto de Dios	Miríada X	Resistencias Ciudadanas como acto creativo
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Adherencia al tratamiento de pacientes con enfermedad crónica
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Antropología de la Música: El Caso de las Músicas del Pacífico Colombiano
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Apnea y Trastornos del Sueño
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Aproximación Neuropsicológica de la Lecto-Escritura en la etapa escolar
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Diálogo Intercultural para la Gestión de Conflictos Territoriales
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Escribir para Convencer
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Finanzas Personales
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Hábitos de consumo sostenible: Motor de innovación
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Impacto de la Investigación de Mercados
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Impacto de las TIC en la vida de las familias
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Industrias sostenibles y competitivas
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Lo que todos deberían saber del Genoma Humano
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Pensamiento del Papa Francisco
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Principios ecológicos para la comprensión de la sostenibilidad ambiental
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Pronósticos de ventas: una herramienta comercial
Pontificia Javeriana	Universidad edX	Seguridad y Salud en el Trabajo: Un derecho fundamental
Universidad Autónoma de Occidente	Miríada X	Ecosistema y Cultura
Universidad de Ibagué	Miríada X	Matemáticas esenciales en los números reales y complejos
Universidad de los Andes	Coursera	¿Cómo convertir mi idea en empresa?
Universidad de los Andes	Coursera	¿Cómo financiar mi empresa?
Universidad de los Andes	Coursera	Autoliderazgo y gestión de emociones para avanzar en desafíos complejos
Universidad de los Andes	Coursera	Bienestar, equidad y derechos humanos
Universidad de los Andes	Coursera	Comunicación, experimentación y aprendizaje en liderazgo
Universidad de los Andes	Coursera	Desarrollo de Videojuegos 3D en Unity: Una Introducción
Universidad de los Andes	Coursera	Desarrollo de Videojuegos en Unity: Una Introducción
Universidad de los Andes	Coursera	Desarrollo y Diseño de Videojuegos: Proyecto final
Universidad de los Andes	Coursera	Diseño de proyectos para promover el bienestar
Universidad de los Andes	Coursera	Mi nueva empresa: los siguientes pasos
Universidad de los Andes	Coursera	Diseño de Videojuegos: Una introducción
Universidad de los Andes	Coursera	Emprendimiento y métodos ágiles de desarrollo en videojuegos
Universidad de los Andes	Coursera	Estilos de Liderazgo: opciones para avanzar en desafíos complejos
Universidad de los Andes	Coursera	Formadores de Ciudadanía
Universidad de los Andes	Coursera	Fundamentos de Finanzas Empresariales
Universidad de los Andes	FutureLearn	Gabriel García Márquez: entre el poder, la historia y el amor
Universidad de los Andes	FutureLearn	Gabriel García Márquez: Power, History and Love
Universidad de los Andes	Coursera	Leer a Macondo: la obra de Gabriel García Márquez
Universidad de los Andes	FutureLearn	Leer a Macondo: La obra de Gabriel García Márquez
Universidad de los Andes	Coursera	Marketing Verde

Universidad de los Andes	Miríada X	Morfo-fisiología cardíaca. Aplicación Clínica
Universidad de los Andes	FutureLearn	Reading Macondo: the Works of Gabriel García Márquez
Universidad de los Andes	Coursera	Sexualidad y educación
Universidad de los Andes	Coursera	Sexualidad...mucho más que sexo
Universidad de los Andes	Coursera	Tesoros de la Física y sus Descubridores I
Universidad del Rosario	Miríada X	Poder en Venezuela ¿Cómo entender la Venezuela de Hoy?
Universidad EAFIT	Miríada X	Conceptos básicos de Estática: Análisis de partículas
Universidad El Bosque	Miríada X	Morfo-fisiología cardíaca. Aplicación Clínica
Universidad Tecnológica de Pereira	Miríada X	Arte Latinoamericano con Énfasis Colombia

Fuente: Los autores.

De acuerdo con la Tabla 1 se puede notar que solo una universidad en Colombia tiene oferta de curso en la plataforma Coursera, considerada la plataforma con el respaldo de las universidades más prestigiosas del mundo. Actualmente mantiene contratos con las principales instituciones universitarias de Estados Unidos y ha logrado una gran reputación y ofrecer una gama de MOOC de todas las ramas del saber. La Universidad de los Andes ofrece desde esta plataforma una aproximado de 24 cursos MOOC, ubicándose en la Universidad Colombiana con más oferta de cursos y variedad de temas que van desde Diseño de Videojuegos y Programación hasta Emprendimiento y Formación ciudadana. La Pontificia Universidad Javeriana es la segunda en oferta de MOOC, y esta lo hace desde la plataforma Edx. La plataforma Edx fue fundada por la Universidad de Harvard y el MIT en 2012, actualmente cuenta con más de 90 socios globales, entre los que se encuentran universidades, organizaciones sin fines de lucro e instituciones más importantes del mundo como miembros. Desde Edx, la Universidad Javeriana ofrece un aproximado de 22 MOOC hasta junio de 2017.

MiríadaX es la otra plataforma seleccionada por las universidades colombianas y a esto le agregamos que es en español. Desde sus inicios las plataformas MOOC en 2012 han tenido el liderazgo del ámbito académico estadounidense, sin embargo, en los inicios del 2013 surge una iniciativa en España, apoyada por Telefónica Learning Services y Universia con el objetivo de ofrecer MOOC por las universidades iberoamericanas de la red Universia. Con la característica que Miríada X oferta cursos en español en su mayoría, sin duda como parte de su apuesta por la educación de calidad en el contexto iberoamericano, es una buena opción para las universidades colombianas. Es así que más universidades se han lanzado con esta plataforma es el caso de: Universidad Tecnológica de Pereira, Universidad El Bosque, Universidad EAFIT, Universidad del Rosario, Universidad de Ibagué, Universidad Autónoma de Occidente, Corporación Universitaria Minuto de Dios y finalmente la Universidad de los Andes también se suma en esta plataforma.

FutureLearn es otra plataforma en la cual encontramos cursos de universidades colombiana, específicamente de la Universidad de los Andes, se destacan 4 cursos en idioma español y en inglés. Esta plataforma es propuesta por la Open University (Gran Bretaña), en la que también participan otras universidades británicas. A partir de mayo de 2016, incluye a

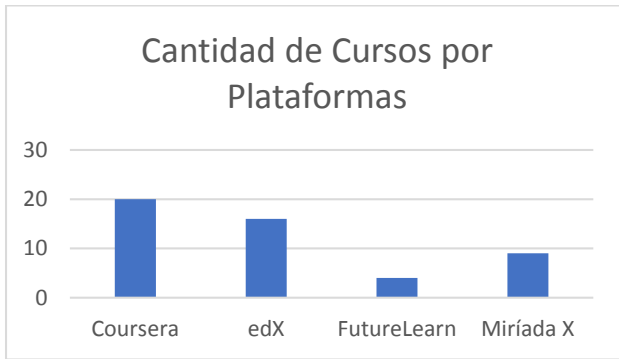


Figura 1. Cantidad de cursos desde plataformas  
Fuente: Los autores.

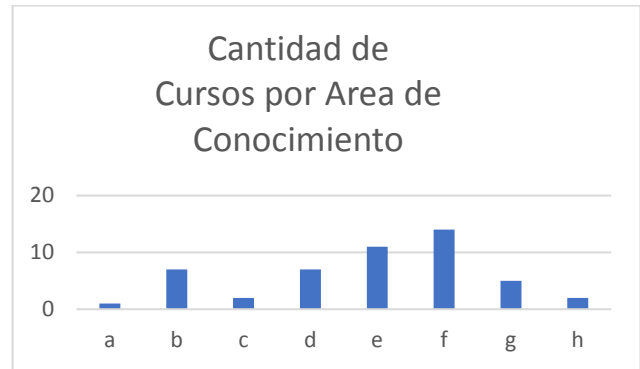


Figura 2. Cantidad de cursos por áreas de conocimiento.  
Fuente: Los autores.

83 socios del Reino Unido y, además incluye socios no universitarios como: el Consejo Británico, la Biblioteca del Reino Unido y el Museo del mismo país. Future Lean tiene como objetivo ofrecer la mejor experiencia de calidad en MOOC de los estudiantes de cualquiera parte del mundo [19].

A continuación, se muestra en la gráfica la cantidad de cursos ofertados desde las plataformas mencionadas. Ver Fig. 1.

De manera general las instituciones que imparte los MOOC en el ámbito colombiano, son universidades privadas de gran prestigio en Colombia y que se han dado a la tarea de darse a conocer y compartir conocimiento a través de los MOOC. Esta pequeña lista de universidades no muestra universidades públicas y las razones pueden estar relacionadas por los costos. Teniendo en cuenta que la oferta aún es corta, en este estudio se incluyen todos los cursos identificados en las plataformas fichadas, no se ha procedido a discriminar los por actualidad de manera que se pueda usar toda la información disponible a este respecto. Es decir, se han tomado todos los MOOC cuyo plazo de inscripción ya está cerrado, los que fueron impartidos o los que se impartirán varios meses después de la realización de este trabajo y cuya inscripción aún no tiene fecha determinada pero sí aparecen dentro de la oferta académica.

Con el objeto de organizar los cursos por áreas de conocimiento y analizar la tendencia de la oferta de temas, se han organizado teniendo en cuenta el nombre del curso y su temática. No se tiene en cuenta la organización realizada por las plataformas porque cada una es diferente o tiene sus propios criterios para las categorías. De acuerdo con el Ministerio de Educación Nacional en Colombia, las áreas de conocimiento son agrupación que se hace de los programas académicos, teniendo en cuenta cierta afinidad en los contenidos, en los campos específicos del conocimiento, en los campos de acción de la educación superior cuyos propósitos de formación conduzcan a la investigación o al desempeño de ocupaciones, profesiones y disciplinas. Las áreas de conocimiento son: a) Agronomía, Veterinaria y afines, b) Bellas Artes, c) Ciencias de la Educación, d) Ciencias de la Salud, e) Ciencias Sociales y Humanas, f) Economía, Administración, Contaduría y afines, g) Ingeniería, Arquitectura, Urbanismo y afines, y h) Matemáticas y Ciencias Naturales, MEN [20]. Se tendrán en cuenta estas categorías porque es lo más común entre las universidades para identificar las áreas de conocimiento. En el siguiente grafico se muestra la oferta de curso de acuerdo con las áreas de conocimiento. Ver Fig. 2. Cantidad de cursos por áreas de conocimiento.

En la Fig. 2. Se puede confirmar que la tendencia de la oferta es hacia cursos en el área de la administración, economía y afines. Siguiendo en esta tendencia los cursos de ciencias sociales. Se puede notar además que en áreas como Agronomía, Veterinaria y afines solo se ha podido incluir uno y muy enfocado a medio ambiente de acuerdo con su título: Principios ecológicos para la comprensión de la sostenibilidad ambiental. Igualmente, en el área de Matemáticas y Ciencias Naturales solo se identifican dos cursos.

Entrando en detalles y analizamos cuáles son las instituciones más activas se puede observar que solo dos universidades se destacan en la oferta. Se puede recalcar que en la oferta que hace Colombia en MOOC la Universidad de los Andes lleva el liderazgo con el 51% de la oferta total y la Universidad Javeriana con el 33% de esta. El resto de universidades se sitúa en un porcentaje muy bajo con uno o dos cursos ofertados hasta junio del 2017. Ver Fig. 3. Oferta de Universidades.

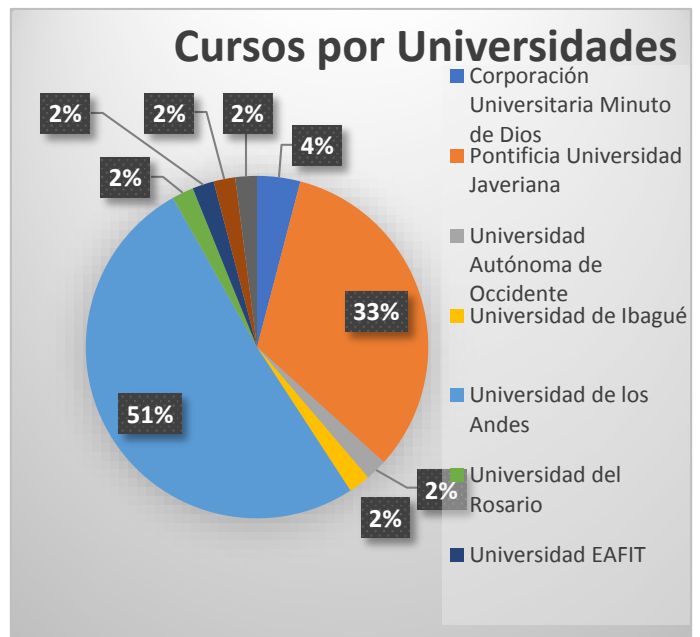


Figura 3. Oferta de Universidades.  
Fuente: Los autores.

Desde el punto de vista pedagógico se puede anotar que estos cursos se ajustan completamente a los estrictos esquemas de las plataformas de manera que es muy poco lo que dejan a la innovación pedagógica. Sin embargo, la oferta de Colombia si está teniendo en cuenta que las nuevas tendencias tecnológicas van engranándose al sistema educativo, ya no resulta nuevo cuando se habla de una educación virtual, semipresencial o un aula de clase invertida, el hecho es que, la innegable globalización que vivimos y la utilización cotidiana de las tecnologías, nos han permitido romper los esquemas del espacio y el tiempo; de manea que nos resulta sencillo la interacción con personas de otras culturas, con estas nuevas propuestas de cursos [21].

## 6. Conclusiones

Las instituciones de Educación Superior continúan en la tarea de dar una respuesta apropiada al fenómeno de los MOOC como una herramienta alternativa para la educación superior sin olvidar los aspectos pedagógicos profundos, el rol de docentes, la evaluación como garantía de aprendizaje y los procesos de enseñanza-aprendizaje. Sin embargo, las diferentes plataformas condicionan los diseños pedagógicos de MOOC en aspectos fundamentales como: el aprendizaje, las actividades y tareas, los medios y recursos, la interactividad y la evaluación. Cada plataforma tiene definidos sus esquemas de manera que si una universidad se asocia con una plataforma debe ajustarse a estos esquemas que desarmen cualquier propuesta pedagógica diferente.

Las universidades colombianas en materia de educación abierta, en línea y masiva tiene mucho camino por recorrer y vale la pena continuar revisando las experiencias de universidades extranjeras que llevan mucho recorrido en esta área para tomar nota y contextualizar propuestas desde lo local a lo internacional.

Enfrentando los retos que deben cumplir las universidades de hoy, encontramos algunos, como la internacionalización de la Universidad. La promoción lograda por un curso que tiene como objetivo compartir conocimiento de una manera muy democrática y convincente, pueden lograr resultados iguales o mejores a los de departamentos de internacionalización, sin duda el reconocimiento que logra una universidad al proponer un MOOC exitoso es enorme [22]. Es así como las gratuidades iniciales de los cursos pueden traer para las instituciones de educación valores adicionales que hoy son objeto de muchas investigaciones.

## Referencias

[1] Perna, L., Ruby, A., Boruch, R., Wang, N. et al., Moving through MOOCs understanding the progression of users in massive open online courses, *Educational Researcher*, 43(9), pp. 421-432, 2009. DOI: 10.3102/0013189X14562423

[2] Mengual-Andrés, S. y Vázquez-Cano, E., La productividad científica sobre MOOC: Aproximación bibliométrica 2012-2016 a través de SCOPUS, *RIED Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, [En línea]. 20(1), pp. 39-58, 2017. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=331450972003>

[3] Valverde, J., MOOCs: Una visión crítica desde las ciencias de la educación, *Profesorado Revista de Currículum y Formación de*

*Profesorado*, [En línea]. 18 (enero-abril), pp. 93-111, 2014. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56730662007>

[4] Rama, C., Macrotendencias y macrotensiones: Las encrucijadas de la educación superior en América Latina, *Policy Futures in Education*, 7(5), pp. 463-472, 2009. DOI: 10.2304/pfie.2009.7.5.463

[5] UNESCO, Conferencia mundial de educación superior 2009: Las nuevas dinámicas de la educación superior y de la investigación para el cambio social y el desarrollo, 2009 [En línea]. Disponible en: [http://www.unesco.org/education/WCHE2009/comunicado\\_es.pdf](http://www.unesco.org/education/WCHE2009/comunicado_es.pdf)

[6] Cabero, J. y Llorente, M., Las tipologías de MOOC: Su diseño e implicaciones educativas, *Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, [En línea]. 18(1), pp. 13-26, 2014. Disponible en: <http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/31663/1/rev181ART1.pdf>

[7] García, L., ¿...y antes de los MOOC?, *Revista Española de Educación Comparada*, 0(26), pp. 97-115, 2015. DOI: 10.5944/reec.26.2015.14483

[8] Evans, S. and Myrick, J., How MOOC instructors view the pedagogy and purposes of massive open online courses, *Distance Education*, 36(3), pp. 295-311, 2015. DOI:10.1080/01587919.2015.1081736

[9] Siemens, G., *Connectivism: A learning theory for the digital age*, e-Learning Library, [En línea]. 2014. Disponible en: <http://er.dut.ac.za/handle/123456789/69>

[10] Yousef, A., Chatti, M., Wosnitza, M. and Schroeder, U., Análisi de clúster de perspectivas de participants en MOOC, *RUSC Universities and Knowledge Society Journal UOC*, 12(1), pp. 74-90, 2016. DOI: 10.7238/rusc.v12i1.2253

[11] EdX, *Quality education for everyone, everywhere*, EdX, 2016 [En línea] Disponible en: <https://www.edx.org/about-us>

[12] Calvo, M., Rodríguez, C. y Fernández, E., ¿Cómo son los MOOC sobre educación?. Un análisis de cursos de temática pedagógica que se ofertan en castellano, *Digital Education Review*, [En línea]. 29, pp. 298-311, 2016. Disponible en: <http://greavub.edu/der/>

[13] Ruiz, P., *Presente y futuro de los Massive Open Online Courses (MOOC): Análisis de la oferta completa de cursos de las plataformas Coursera, EdX, Miriada X y Udacity*, Tesis de Máster, Universidad Complutense de Madrid, España, 2013 [En línea]. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/23502/2/MOOCs.pdf>

[14] Medina-Salguero, R. y Aguaded, I., Los MOOC en la plataforma educativa MiriadaX, *Profesorado Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, [En línea]. 18(1), pp. 137-153, 2014. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10272/11275>

[15] Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P., *Metodología de la Investigación*, México: Mc Graw Hill, 2006.

[16] Ruiz, C., El MOOC: ¿Un modelo alternativo para la educación universitaria?, *Apertura*, [En línea]. 7(2), pp. 110-131, 2015. Disponible en: <http://www.udgvirtual.udg.mx/apertura/index.php/apertura/article/view/689>

[17] Linden, A. y Fenn, J., *Understanding Gartner's hype cycles*, Strategic Analysis Report N° R-20-1971, Gartner, Inc., 2003, 12 P. [En línea] Disponible en: <http://www.bus.umich.edu/KresgePublic/Journals/Gartner/research/115200/115274/115274.pdf>

[18] Cabero, J., Visiones educativas sobre los MOOC, *RIED Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, [En línea]. 18(2), pp. 39-60, 2015. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/3314/331439257003.pdf>

[19] Shaw, C., Future learn is UK's chance to 'fight back', says OU vice-chancellor, *The Guardian*, [online]. 20, 2012. Available at: [https://www.immagic.com/eLibrary/ARCHIVES/GENERAL/GMGP\\_UK/G121220S.pdf](https://www.immagic.com/eLibrary/ARCHIVES/GENERAL/GMGP_UK/G121220S.pdf)

[20] Ministerio de Educación Nacional, *Glosario de términos del observatorio laboral para la educación*, 2007. [En línea]. Disponible en: [http://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles-213912\\_glosario.pdf](http://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles-213912_glosario.pdf)

[21] Cano, J., Ricardo, C. y Serrano, F., Competencia intercultural de estudiantado de educación superior: Un estudio en la Universidad del Norte (Barranquilla, Colombia), *Encuentros*, 14(2), pp. pp.159-174, 2016. DOI: 10.15665/re.v14i2.734

[22] Godwin-Jones, R., Global reach and local practice: The promise of MOOCs, *Language Learning & Technology*, [online].18(3), pp. 5-15, 2014. Available at: <http://lt.msu.edu/issues/october2014/emerging.pdf>

**C.P. Baloco-Navarro**, recibió el título de Ing. de Sistemas en 1997, de MSc. en Educación en 2011 y actualmente adelanta Doctorado en Educación en la Universidad del Norte de Barranquilla, Colombia y desarrolla su proyecto de investigación en el Grupo de investigación Informática Educativa. De 1998 a 2007 trabajó en la Universidad de la Costa como directora del programa de ingeniería de sistemas. Se vinculó a la Universidad del Atlántico en el año 2008 como docente y es profesora asociada desde el año 2015. Sus intereses investigativos incluyen: tecnologías aplicadas a la educación, e-learning, MOOC, diseño instruccional, objetos de aprendizaje y creación de ambientes virtuales de aprendizaje.  
ORCID: 0000-0003-3229-2338

**C. Ricardo**, recibió el título de Ing. de Sistemas en 1992 en la Universidad del Norte, Colombia, de MSc. En Educación Abierta y a Distancia en 2004 de la UNED y el título de Dr. en Educación en 2013 en la UNED. Desde el año 2003 se ha desempeñado como directora del Departamento de Educación, profesora e investigadora del mismo departamento, coordinadora del Grupo de Investigación Informática Educativa, coordinadora de la Maestría y Especialización virtual en educación mediada por TIC en la Universidad del Norte, Colombia. Sus intereses investigativos incluyen: tecnologías aplicadas a la educación, formación docente, Interculturalidad, Gestión Institucional, Ambientes de Aprendizaje Medidos por las TIC.  
ORCID: 0000-0002-0474-685X



# La administración de sistemas informáticos, una alternativa a la formación del profesional en tecnologías de información y comunicaciones

Francisco Javier Valencia-Duque & Leonardo Bermón-Angarita

Facultad de Administración, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia. [fjvalenciad@unal.edu.co](mailto:fjvalenciad@unal.edu.co), [lbermona@unal.edu.co](mailto:lbermona@unal.edu.co)

*Resumen*— La Administración de Sistemas es una disciplina relacionada con la informática, afín a la ingeniería de sistemas, que estudia las TIC como función del negocio y la forma de gestionarlas para agregar valor a las organizaciones. Este artículo presenta una visión de lo que es la administración de sistemas informáticos, como una alternativa a la formación del ingeniero de sistemas, la evolución de su rol del profesional en sistemas, sus competencias, áreas de estudio e investigación y su estado actual desde el punto de vista de programas de formación en el contexto colombiano.

*Palabras Clave*—Administración de Sistemas Informáticos; Sistemas de Información; Tecnologías de Información y Comunicaciones; CIO.

Recibido para revisar Julio 7 de 2017, aceptado Agosto 9 de 2017, versión final Agosto 31 de 2017

## Management information systems, an alternative to professional formation in information and communication technologies

*Abstract*— Management Information Systems is a discipline related to computer science, in conjunction with Systems Engineering that studies ICT as the function of the business and the form of manage it in order to add value to the organizations. This paper presents a vision of what is the management information systems, as an alternative to the training of the systems engineer, the evolution of their professional role in systems, their competences, areas of study and research areas and its status from the point of view of university careers in the Colombian context.

*Keywords*— Management Information Systems; Information Systems; Information and Communication Technologies; CIO

### 1. Introducción

Un entorno caracterizado por el cambio constante y por la urgencia de ser más competitivo, demanda profesionales cada vez más especializados, con conocimientos pertinentes, que aporten valor a las organizaciones en las cuales se desempeñan. El campo de las Tecnologías de Información y Comunicaciones (en adelante TIC) no es la excepción, de allí que han surgido en los últimos años nuevos roles, nuevos campos de conocimiento, en lo que se podría llamar de forma genérica el desarrollo de capacidades tecnológicas y organizacionales basadas en tecnologías de información, cuya esencia es estudiar las TIC y sus conceptos asociados, no como fin, sino como medio para

lograr que éstas agreguen valor a los negocios, articulando las TIC a las estrategias del negocio, a sus procesos y concibiéndolos como un recurso estratégico y no simplemente como dispositivos tecnológicos que procesan información.

Existe actualmente un alto crecimiento mundial de ocupaciones relacionadas con la informática. La alta demanda de los servicios proporcionados por esta industria ha creado un gran número de trabajos de TI de rápido crecimiento y alta remuneración [1].

Se requiere proporcionar una perspectiva para aquellos en el mundo académico que necesitan entender cuáles son las principales disciplinas de relacionadas con la informática y cómo diferentes programas de pregrado se diferencian y se complementan entre sí [2].

A continuación se presenta una perspectiva de la disciplina que en concepto de los autores desarrolla actualmente las capacidades tecnológicas y organizacionales –**La Administración de Sistemas Informáticos**– la cual recibe diversas denominaciones en el lenguaje de habla hispana, y sin llegar a una discusión retórica acerca del término, podríamos asociarla a la gestión de tecnologías de información, gestión de recursos informáticos e incluso como lo plantea [3] a la gestión de la información en su conjunto.

Por lo tanto, es necesaria una revisión de los conceptos fundamentales del área de la Administración de Sistemas Informáticos para poder darla a conocer en el contexto colombiano y lograr una diferenciación explícita con otras carreras universitarias relacionadas con la informática. Programas de certificación internacional de calidad educativa como ABET (Accreditation Board of Engineering and Technology), proponen diferenciar las carreras universitarias relacionadas con la informática [4].

La Administración de sistemas informáticos a la luz de la evolución del rol del ingeniero de sistemas es considerada una disciplina joven, especializada, que no requiere solo de la enseñanza de asignaturas de Administración de Empresas e Ingeniería de Sistemas de forma independiente, sino que conlleva la existencia de asignaturas en contexto, con cuerpo propio de conocimiento que requiere de profesionales que

**Como citar este artículo:** Valencia-Duque, F.J. and Bermón-Angarita, L., La administración de sistemas informáticos, una alternativa a la formación del profesional en tecnologías de información y comunicaciones. Educación en Ingeniería, 13(25), pp. 44-49, Febrero, 2018.

comprendan las TIC en función del negocio y la forma de gestionarlas para agregar valor a la organización.

Este artículo está organizado de la siguiente manera: La sección 2 presenta la metodología utilizada para la elaboración de este estudio. La sección 3 presenta la evolución del rol de los responsables de las Tecnologías de Información y Comunicaciones en las organizaciones. La sección 4 describe el área de la Administración de Sistemas Informáticos. La sección 5 muestra programas relacionados con la Administración de Sistemas Informáticos a nivel internacional y en Colombia. Finalmente, en la sección 6 se presentan las conclusiones.

## 2. Metodología

Este estudio, surge como una necesidad de confrontar la realidad de los programas afines a la Administración de Sistemas Informáticos tanto de pregrado como de posgrado existentes en Colombia y que han surgido como una alternativa a la formación tradicional del Ingeniero de Sistemas, frente a referentes internacionales asociados a aspectos curriculares, de investigación y perfiles laborales relacionados.

Para tal fin, se acudió a la revisión de información bibliográfica en bases de datos científicas, a la revisión de sitios web asociados a currículos internacionales y a publicaciones que presenten los nuevos roles de los profesionales en tecnologías de información, para finalmente confrontarlos con la realidad de los programas de pregrado y posgrado que se encuentran inscritos oficialmente en el Ministerio de Educación Nacional y que se ofrecen en Colombia.

## 3. Evolución del rol de los responsables de las tecnologías de información y comunicaciones en las organizaciones

La figura del responsable de las TIC en las organizaciones ha venido cambiando durante los últimos años, al pasar de ser simplemente el responsable de poner en operación las TIC, al de ser un estratega tecnológico que proyecta este valioso recurso más allá de la operación diaria, aportando a la productividad organizacional y generando ventajas competitivas, dando respuesta de esta forma a los planteamientos realizados en 1987 por el premio nobel de economía Robert Solow, quien acuñó el término “paradoja de la productividad” y al realizado por el profesor Nicholas G. Carr en el 2003 cuando a través del *Harvard Business Review* publicó el artículo “*IT Doesn’t Matter*” (las TIC no importan) para referirse a que las TIC son cada vez menos una ventaja competitiva, a medida que se transforman en una infraestructura compartida por todos [5]. De igual forma, históricamente el gasto en TIC ha sido uno de los gastos menos comprendidos y una de las áreas peor gestionadas de muchos negocios [6].

A partir de éstos y otros planteamientos similares, la comunidad académica ha venido desarrollando diversas investigaciones para explicar la forma en que las TIC incrementan la productividad organizacional:

- Las TIC permiten una reducción de la complejidad de las relaciones entre los actores organizacionales, logrando así una reducción de costos [7].
- Durante los últimos años la evidencia empírica internacional ha corroborado la existencia de nuevas fuentes co-

innovadoras de la productividad empresarial, basadas en el establecimiento de relaciones de complementariedad [8].

- La productividad organizacional mejora a través de la integración entre el uso de tecnologías digitales, nuevas prácticas de organización del trabajo y la cualificación de los trabajadores. Las TIC permiten a los usuarios ejecutar una transmisión más rápida de las comunicaciones. El intercambio de mensajes y documentos nunca ha sido tan fácil de realizar y completar [9].

De igual forma, vienen surgiendo teorías que explican la necesidad de utilizar las TIC como medio para lograr ventajas competitivas, entre las que se destacan la teoría de recursos y capacidades de Barney [10], base sobre la cual se han realizado múltiples investigaciones a nivel internacional.

Lo anterior lleva a la necesidad de diferenciar diversos roles, que si bien pueden llegar a ser complementarios, requieren de una visión y una formación distinta, los cuales van desde el CTO (*Chief Technology Officer*) pasando por el CIO (*Chief Information Officer*) y llegando incluso a lo que Gartner Group ha denominado como el CDO (*Chief Digital Officer*), como se observa en la Tabla 1.

El CTO se concentra más en la tecnología, en mantener en operación la infraestructura tecnológica, mientras que el CIO está más cerca del negocio y se preocupa mucho más de la forma como la tecnología agrega valor y apoya las decisiones empresariales [14]. Por su parte, el CDO es un ejecutivo encargado de la evolución tecnológica, cuyo rol está orientado a impulsar el crecimiento de las empresas mediante la conversión de empresas análogas a digitales [15].

Tradicionalmente en Colombia los programas de formación en este campo están alineados hacia la formación de CTO’s, incursionando en los últimos años en la formación de CIO’s que estén más alineados con el negocio, lo cual se ha venido materializando a partir de la aparición de programas de pregrado y posgrado relacionados con la Administración de Sistemas Informáticos, llamados también gestión de tecnologías de información.

Tabla 1.  
Funciones y habilidades del CIO, CTO y CDO

Rol	Funciones	Habilidades
CIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interactúa con los ejecutivos.</li> <li>• Asegura que las TIC están alineadas con los procesos de negocio.</li> <li>• Asegura el éxito de la organización.</li> </ul>	Piensa y actúa estratégicamente, lidera equipos, gestiona proyectos, conocimiento del negocio, se adapta al cambio, toma decisiones y realiza seguimiento de innovaciones tecnológicas.
CTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Administra la infraestructura.</li> <li>• Evalúa la tecnología.</li> <li>• Administra operaciones.</li> <li>• Enfoque en tecnología que mejores productos y servicios.</li> </ul>	Identifica, explota e integra nuevas tecnologías, apalanca la tecnología a través de unidades de negocio, conduce la estrategia de negocios, reduce costos, mejora relaciones con el cliente, comunicaciones y colaboración.
CDO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoya a la alta gerencia en estrategias de transformación digital.</li> <li>• Lleva a la empresa a la vanguardia de la evolución digital.</li> </ul>	Competencias en TI, habilidades de gestión del cambio, habilidades de inspiración, promueve iniciativas digitales, lidera la transformación digital y fomenta la colaboración multifuncional

Fuente: Basada en [11-13].

#### 4. Área del conocimiento de la administración de sistemas informáticos

El área de la Administración de Sistemas Informáticos se puede estudiar desde el punto de vista del *Computing Curricula 2016* [16], una guía curricular para programas de informática desarrollada por la IEEE y ACM. Esta guía define 5 grandes áreas: Ingeniería de Computación, Ciencias de la Computación, Sistemas de Información, Tecnologías de Información e Ingeniería de Software. El área de conocimiento de la Administración de Sistemas Informáticos está relacionada fundamentalmente con las áreas de Sistemas de Información y Tecnologías de Información. Esta sección, describirá primero los antecedentes del área. Luego, presenta los conceptos de Sistemas de Información y Tecnologías de Información. Después, las competencias del perfil del administrador de sistemas informáticos son descritas. Por último, se describe líneas de investigación actuales del área y su impacto.

##### 4.1. Antecedentes

La disciplina de la Administración de Sistemas Informáticos es reciente. En 1965, Börje Langefors, en Suecia, fue el primer profesor de Procesamiento de Información con un énfasis hacia la gestión. En 1968, se creó el primer programa formal de maestría y doctorado en *Management Information Systems* en la Universidad de Minnesota. En 1971, en el Departamento de Sociología Industrial y Organizaciones de la Escuela de Negocios de Copenhagen, Niels Bjørn-Andersen comenzó su carrera enseñando *Management Information System* y Sistemas de Decisión. En 1976 se organizó dentro de la IFIP el TC8, reconociendo la disciplina de *Information Systems* como un área de trabajo independiente de las otras disciplinas de la computación. En 1980 tuvo lugar la primera conferencia en sistemas de información (ICIS). En 1995 se funda la *Association for Information Systems* (AIS) con una estructura de gobierno internacional [17] [18]. Actualmente, la AIS es la principal asociación en la disciplina ([www.aisnet.org](http://www.aisnet.org)).

El área está relacionada con dos componentes del *Computing Curricula*: Sistemas de Información y Tecnología de la Información.

##### 4.2. Sistemas de Información (SI)

El área de SI se enfoca en integrar las soluciones en tecnologías de información y los procesos de los negocios para cumplir con las necesidades de información de las empresas. Enfatiza en la información y observa la tecnología como un instrumento que permite la generación, procesamiento y distribución de la información requerida. Está principalmente interesada en los procesos que una empresa puede implementar y mejorar utilizando tecnologías de información. Ayuda a una organización a determinar cómo la información y los procesos de negocios obtenidos gracias a la tecnología pueden proporcionar una ventaja competitiva. El área juega un rol clave en determinar los requerimientos de los sistemas de información de una organización y está inmersa en su especificación, diseño e implementación.

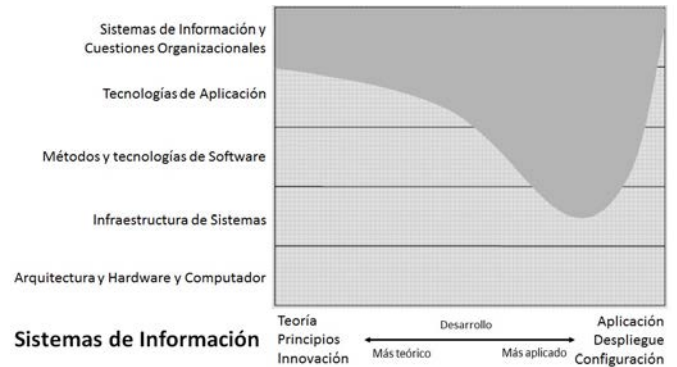


Figura 1. Sistemas de Información.

Fuente: Adaptado de [16].

La Fig. 1 representa la disciplina de SI. El área sombreada se extiende a través de la mayor parte superior de la figura ya que se preocupa por la relación entre los sistemas de información y las organizaciones, estudiando desde la teoría y los principios hasta la aplicación y el desarrollo. El área cubierta se extiende hacia abajo a través del desarrollo de software y la infraestructura de sistemas en la mitad derecha de la figura, debido a que a menudo adaptan las tecnologías de aplicación a las necesidades de la empresa y desarrollan sistemas que utilizan otros productos de software para satisfacer las necesidades de las organizaciones.

##### 4.3. Tecnología de la Información (TI)

La TI tiene como objetivo satisfacer las necesidades tecnológicas de las organizaciones. Su énfasis está en la tecnología en sí misma más que en la información que procesa. TI es una disciplina nueva y con un rápido crecimiento, que empezó como una respuesta muy básica a las necesidades prácticas y cotidianas de las organizaciones. Los especialistas en TI asumen la responsabilidad de seleccionar los productos de hardware y software apropiados para una organización, integrando estos productos con las necesidades organizacionales y la infraestructura, e instalando, adecuando y manteniendo estas aplicaciones para los usuarios de sistemas de la organización.

La parte sombreada de la Fig. 2 representa la disciplina de TI. Su área sombreada se extiende por la mayor parte del borde derecho, ya que se centra en la aplicación, el despliegue y las necesidades de configuración de las organizaciones y personas en un amplio espectro. Su función se solapa con SI, pero las personas de TI tienen un enfoque especial en satisfacer las necesidades humanas que surgen de la tecnología informática.

##### 4.4. Competencias

Las competencias fundamentales de los administradores de sistemas informáticos se enfocan en comprender las TIC en función del negocio, tener amplios conocimientos de infraestructura tecnológica, sistemas de información y servicios tecnológicos, complementado con conocimientos y habilidades en gestión empresarial, y a partir de allí aportar soluciones empresariales a las organizaciones con el uso intensivo de las TIC.

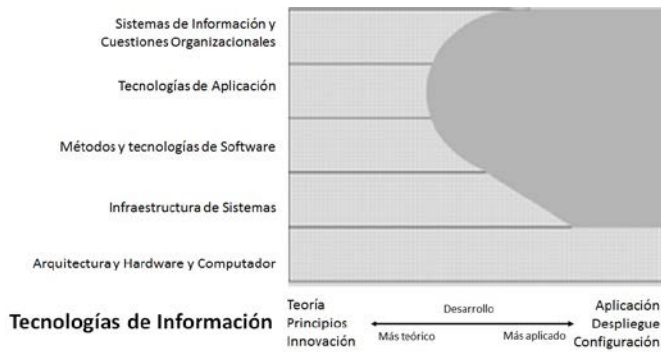


Figura 2. Tecnología de Información.  
Fuente: Adaptado de [16].

NWCET [19] divide las competencias en tres categorías generales:

- **Empleabilidad:** Incluye destrezas universales y habilidades fundamentales para aplicar conocimiento técnico en cada campo TI. Por ejemplo: comunicación, organización, pensamiento crítico y toma de decisiones.
- **Técnicas:** Incluye competencias comunes aplicables a TI. Por ejemplo: lenguajes de programación, hardware y software, arquitectura de sistemas y principios de internet.
- **Específicas de la industria:** Con entendimiento avanzado de su campo de práctica. Por ejemplo: cumplimiento de estándares y protocolos, certificaciones específicas, terminología específica de la industria y prácticas industriales.

#### 4.5. Investigación

Por el reconocimiento de las dimensiones sociales, individuales, técnicas y económicas, la investigación en Administración de Sistemas Informáticos utiliza teorías generalmente provenientes de las ciencias sociales. Las cinco teorías más utilizadas son: la teoría del Modelo de Éxito de Sistemas de Información de Delone y McLean [20], la teoría de la Cultura Organizacional [21], la teoría del Realismo Crítico [22], la teoría de Difusión de Innovaciones [23] y la teoría de la Contingencia [24]. El sitio web de la AIS [25] presenta 87 teorías utilizadas en la investigación en Administración de Sistemas Informáticos.

La investigación en Administración de Sistemas Informáticos es presentada en diferentes eventos académicos entre los que se destacan: ICIS (<http://icis2011.aisnet.org/>), AMCIS (<http://amcis2011.aisnet.org/>), AIM (<http://www.aim.asso.fr/>), ECIS (<http://www.ecis2011.fi/>) y IFIP TC8 (<http://ifiptc8.dsi.uminho.pt/>)

También el área es presentada en diferentes revistas entre las que destacan: *MIS Quarterly*, *Electronic Journal of Information Systems Evaluation*, *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, *Enterprise Information Systems*, *European Journal of Information Systems*, *Information and Management*, *Information and Organization*, *Information Systems Research*, *Journal of AIS*, *Journal of MIS* y *Journal of Strategic Information Systems*, *International Journal of Computer and Information Technology*.

### 5. Programas relacionados con la administración de sistemas informáticos a nivel internacional y en Colombia

A nivel internacional y de acuerdo a la investigación realizada por [26] a través de la revisión de 329 sitios web de universidades de Estados Unidos que ofrecen programas de maestrías de sistemas de información, encontró que los nombres más comunes de este tipo de programas son: *Information Systems*, *Management of Information Systems/Technology*, *Computer Information Systems*, *Information Technology/Management*, *Accounting and IS*, *Business Information Systems*. Otras denominaciones encontradas a nivel de pregrado por [27] son: *Information Management*, *Information system management*, *Business Information Systems*, *Business Computer Systems*, *Business Computer Information Systems*, *Business Information Technology Management*, *Business Informatics*, *Information Resource Management*, *Information Technology Resources Management*, *Accounting Information Systems*.

En la Tabla 2 se pueden observar elementos diferenciales entre la Administración de sistemas de información (*Management Information Systems –MIS–*) la ciencia de computadores (*Computer Science – CS–*) y las Tecnologías de Información basado en computador (*Computer Information Technology – CIT–*).

A partir de lo anterior y al buscar programas de formación en Colombia asociados al perfil –MIS– se acudió al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES) del Ministerio de Educación Nacional [28], donde se encontraron, a diciembre de 2016, 18 programas entre pregrado y posgrado con nombres similares a la Administración de Sistemas Informáticos, distribuidos en 14 universidades de los cuales 1 es tecnológico, 7 son de pregrado, 1 especialización y 9 programas de maestría. El 78,5% de las universidades que ofrecen estos programas son privadas.

Tabla 2.  
Elementos diferenciales entre MIS, CS, y CIT.

	MIS	CS	CIT
Foco	Negocios	Software	Aplicaciones de TI
Objetivo	Mayor eficacia y eficiencia en los negocios	Programas de computador fiables	Mejor uso de la tecnología de computador
Habilidades básicas	Resolver problemas	Lógica/ Procedimientos	Resolver problemas
Tareas básicas	Determinar los requisitos de negocio para los sistemas de información	Diseño del software para cumplir con requerimientos	Entregar sistemas de información para cumplir con los requerimientos definidos
Perfil	Analista de sistemas de negocios	Ingeniero de software	Programador de aplicaciones
Objetivos profesionales	Director Organizacional Senior	Director Programación	Director de aplicaciones de TI
Facultades	Negocios	Ciencias.	Tecnologías de Información e Ingeniería

Fuente: Basado en [27].

En particular, los 7 programas de pregrado en Administración de Sistemas Informáticos son ofrecidos en Bogotá, Medellín, Pamplona, Roldanillo y Manizales, de los cuales tan solo uno cuenta con registro de alta calidad.

Dentro del cuerpo de conocimiento que hace parte del currículo de estos programas, se encuentra una base técnica que es común a la mayoría de los programas de Ingeniería de Sistemas, y que se convierten en el objeto de estudio como medio para otra serie de asignaturas que hacen parte de la esencia de esta nueva profesión y que en muchos de los programas tradicionales de Ingeniería de Sistemas no se ven o son considerados como electivas.

Los aspectos que representan la propuesta diferencial frente al ingeniero de sistemas tradicional se encuentran en dos tipos de asignaturas: unas relacionadas con la gestión organizacional propiamente dicha y otras que ponen en contexto la gestión en función de las TIC o las TIC en función de la gestión. Dentro de estas asignaturas se encuentran cuerpos de conocimiento tales como: gobierno de TIC, gestión de TIC, gestión de servicios de TIC, arquitectura empresarial, sistemas de gestión de seguridad de la información, estrategias de TI, calidad de software, *testing* de software, *outsourcing* de TI, gestión de activos tecnológicos, IT GRC (*Governance, Risk and Compliance*), planeación estratégica de TI, innovación de TI, emprendimiento tecnológico, gestión de proyectos de tecnologías de información, auditoría de TI, riesgos de TI, aspectos financieros y evaluación de inversiones de TI, gestión del conocimiento, BPM, minería de procesos, entre otros.

Como se puede observar son cuerpos de conocimiento que por lo general no son parte integral de los cuerpos de conocimiento de los programas de Ingeniería de sistemas tradicionales, aunque en algunos de ellos se observa su incorporación, pero más como asignaturas electivas.

Estos conceptos son instanciados en el sector productivo y académico a través de diversos modelos y metodologías que en algunos casos incorporan certificaciones profesionales que permiten generar valor agregado al egresado una vez ingresa al mercado laboral. En el caso de los modelos y metodologías se encuentran ISO 20000, ISO 27001, COBIT, ITIL, CMMI, ISO 12207, ISO 29110, ISO 25000, ISO 38500, RISK IT, TOGAF, SWBOOK entre otros.

En el caso de las certificaciones, algunas de ellas son las siguientes: CGEIT (Certified in the Governance of Enterprise IT), COBIT en sus diferentes niveles y versiones, CISA (Certified Information Systems Auditor), CRISC (Certified in Risk and Information Systems Control), ITIL en sus diferentes niveles, CISM (Certified Information Security Manager), CISSP (Certified Information Systems Security Professional) auditor líder ISO 27001, auditor líder ISO 20000, entre otras.

## 6. Conclusiones

La demanda de profesionales de negocios con conocimientos de tecnologías de información ha sido proyectada para incrementarse en aquellas organizaciones que desean mejorar su posición competitiva [29], de allí la necesidad de formar profesionales que tengan una visión de las TIC no solo centradas en su parte técnica, sino como un recurso que se gestiona, para lo cual se requiere el desarrollo de

capacidades técnicas y organizacionales para agregar valor a la organización.

A pesar de que en Colombia la disciplina de Administración de sistemas informáticos parece ser nueva, en el ámbito internacional, y en especial en las universidades de Estados Unidos es ampliamente difundida, con diversas denominaciones.

La llamada crisis de la formación en Ingeniería de sistemas, planteada en diferentes medios, debe superarse a través de la generación de nuevas alternativas relacionadas, que responda a la evolución y necesidades de la organizaciones, lo que conlleva a trascender hacia nuevos perfiles, dentro de ellos la evolución del CTO al CIO, incorporando nuevos cuerpos de conocimiento que ya hacen parte de los recientes programas de formación de pregrado y posgrado creados en Colombia alrededor de la Administración de Sistemas Informáticos, y que le dan a la Ingeniería de Sistemas nuevas perspectivas que deben seguir siendo fortalecidas para ser pertinentes en un entorno cambiante.

Acorde a lo anterior, la Administración de sistemas informáticos es una profesión afín a la Ingeniería de sistemas, que surge como alternativa para aquellos aspirantes que desean combinar conocimientos tanto técnicos como organizacionales y su interrelación, no como elementos agregados, sino como aspectos que adecuadamente combinados agregan valor a la organización, para hacer de las TIC una herramienta indispensable para su competitividad.

## Referencias

- [1] Csorny, L., Careers in the growing field of information technology services, Beyond Numbers Employ. Unempl. vol. 2, no. 9, 2013.
- [2] Colegio de Ingenieros del Perú, "Denominaciones y Perfiles de las Carreras en Ingeniería de Sistemas, Computación e Informática.," Lima - Perú, 2006.
- [3] Maes, R., An integrative perspective on information management, Inf. Manag. Setting Scene, no. April, pp. 11–26, 2007.
- [4] ABET, "CRITERIA FOR ACCREDITING COMPUTING PROGRAMS. 2016-2017," 2017. [Online]. Available: <http://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-computing-programs-2016-2017/>. [Accessed: 20-Aug-2017].
- [5] Carr, N., Las Tecnologías de la Información. ¿Son realmente una ventaja competitiva? Boston, 2004.
- [6] Lutchen, M. D., Dirigir las TI como un negocio, Edición en. McGraw-Hill / Interamericana Editores, 2005
- [7] M. Martínez. ICT, Productivity and Organizational Complementarity, Emerging Themes in Information Systems and Organization Studies, pp 271-280, 2011.
- [8] Torrent-Sellens, J., y Ficapal-Cusí, P., TIC, cualificación, organización y productividad del trabajo: un análisis empírico sobre las nuevas fuentes de la eficiencia empresarial en Cataluña. Investigaciones Regionales, 20, pp. 93-115, 2009.
- [9] Miller, K., Organizational Communication: Approaches and Processes (6th ed.). Wadsworth: CENGAGE Learning, 2012.
- [10] Barney, J.B., Firm resources and sustained competitive advantage. Journal of Management, Vol.17, pp. 99–120, 1991.
- [11] L. Portela, R. Carvalho, J. Varajão y L. Magalhães. A Review of Chief Information Officer' Main Skills. Organizational, Business, and Technological Aspects of the Knowledge Society. Third World Summit on the Knowledge Society, WSKS 20101, Corfu, Greece, September 2010 Proceedings. Niltiadir D. Lytras et al. (Eds.), 2010.
- [12] Berray, T. y Sampath, R., The Role of the CTO: Four Models for Success. [http://www.brixtonspa.com/Career/The\\_Role\\_of\\_the\\_CTO\\_4Models.pdf](http://www.brixtonspa.com/Career/The_Role_of_the_CTO_4Models.pdf)
- [13] Singh, A. y Hess, T., How Chief Digital Officers Promote the Digital

- Transformation of Their Companies. *MIS Quarterly Executive* 16(1), pp. 1-17, 2017.
- [14] Fortino, A., "The New CIO: From Technician to Business Strategist and the Implications for E-Commerce," in *IEEE International Conference on e-Business Engineering*, pp. 139-146, 2008.
- [15] Conneally, T., "Chief Digital Officer' is the next hot executive title, says Gartner," 2012.
- [16] Association for Computing Machinery (ACM) y IEEE Computer Society. *Computer Engineering Curricula 2016. Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Engineering*. 2015.
- [17] Andersen, K. V. y Vendelo, M. T., *The past and future of information systems*. London, Oxford, Elsevier, Butterworth-Heinemann, 2004.
- [18] Avison, D., *The past and future of information systems: 1976-2006 and beyond*, Santiago de Chile, IFIP 19th World Computer Congress, 2006.
- [19] Evans, N., Chapter 2 - Information Technology Jobs and Skill Standards. *Technology Everywhere, A Campus Agenda for Educating and Managing Workers in the Digital Age*, Brian L. Hawkins, Julia A. Rudy, and William H. Wallace, Jr., Editors, EDUCCASE, 2002.
- [20] DeLone, W. y McLean, E.R., "The DeLone and McLean Model of Information Systems Success: A Ten-Year Update." *Journal of Management Information Systems*, 19(4), pp. 9-30, 2003.
- [21] Pettigrew, A. M., "On Studying Organizational Cultures." *Administrative Science Quarterly*, 24(4), pp. 570-581, 1979.
- [22] Dobson, P., "Critical realism and information systems research: why bother with philosophy?." *Information Research*, 7(2): 14, 2002.
- [23] Rogers, E. M., *Diffusion of Innovations*. New York, The Free Press, 2003.
- [24] Burns, T. y Stalker, G.M., *The Management of Innovation*. Oxford, Oxford University Press, 1994.
- [25] AIS. [www.aisnet.org](http://www.aisnet.org), [consulta hecha el 14 de junio de 2017].
- [26] Apigian, C. and Gambill, S., "A descriptive Study of Graduate Information Systems Curriculums," *Review of Business Information Systems*, vol. 18, no. 2, pp. 47-52, 2014.
- [27] Gurung, A., "Improving the Online Course in Principles of Management Information Systems," *International Journal of Computer and Information Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 150-154, 2017.
- [28] Sistema Nacional de Información de la Educación Superior. SNIES. <http://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/w3-propertyname-2672.html>
- [29] Ike C. Ehie (2002) Developing a Management Information Systems (MIS) Curriculum: Perspectives From MIS Practitioners, *Journal of Education for Business*, 77:3, 151-158, DOI: 10.1080/08832320209599064
- F.J. Valencia-Duque**, es PhD. en Ingeniería –Industria y Organizaciones de la Universidad Nacional de Colombia (2015), MSc. en Administración de Tecnologías de Información, del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Mexico, (2008), Esp. en Diseño de sistemas de auditoría de la Universidad Nacional de Colombia (1998), Ing. de Sistemas de la Universidad Antonio Nariño, Colombia, (2012) y Administrador de Empresas de la Universidad Nacional de Colombia (1995), certificaciones internacionales CISA, CRISC, COBIT Foundations, Auditor líder ISO/IEC 27001:2013. Docente/Investigador en temas de gobierno, gestión, riesgos, control y auditoría de Tecnologías de Información de la Universidad Nacional de Colombia. ORCID: 0000-0002-0617-2386
- L. Bermón-Angarita**, es PhD. en Ingeniería Informática de la Universidad Carlos III de Madrid, España (2010), MSc. en Informática (2001) e Ing. de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander, Colombia, (1997). Actualmente es profesor asociado y director del Departamento de Informática y Computación de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales. Pertenece al Grupo de Investigación en Aplicaciones y Herramientas Web de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales. Sus principales áreas de investigación son la ingeniería de software, Procesos software, desarrollo Web y gestión del conocimiento. ORCID: 0000-0002-6034-0483

# Entornos interactivos en la educación. ¿Sólo cuestión de tecnología?

Jaime Alberto Parra-Plaza

*Institución Universitaria Antonio José Camacho. Cali, Colombia. [jparra@admon.uniajc.edu.co](mailto:jparra@admon.uniajc.edu.co)*

**Resumen**— El uso de la tecnología como soporte para implementar estrategias didácticas es una de las áreas con mayor crecimiento en la actualidad. Sin embargo, la tecnología por sí misma no es suficiente para abordar el proceso total de aprendizaje así que desconocer los aspectos complementarios puede llevar a soluciones que no logren significatividad ni perdurabilidad en el aprendizaje. En este artículo se describe el diseño de entornos interactivos teniendo en la cuenta no sólo la tecnología sino también la intencionalidad en cuanto a significatividad de las estrategias didácticas mediadas por tales entornos. Las estrategias se diseñan teniendo como base las características neurogenéticas que subyacen al proceso mismo de aprendizaje. Los resultados parciales obtenidos en pruebas piloto sugieren que los entornos desarrollados así logran un aprendizaje más significativo y perdurable, al medirse en términos de interés, motivación y asimilación, con mejoras que sobrepasan un 50% relativo, ganancias normalizadas <g> entre 0.42 y 0.8.

**Palabras Clave**— Aprendizaje significativo; didáctica; entornos interactivos; proceso de aprendizaje; TIC.

Recibido: 22 de agosto de 2017. Revisado: 22 de septiembre de 2017. Aceptado: 11 de octubre de 2017.

## Interactive environments in education. ¿Just a matter of technology?

**Abstract**— The use of technology as a support for implementing didactic strategies is one of the areas with greatest growth today. However, technology alone is not enough to address the total learning process hence ignoring the complementary aspects can lead to solutions that do not achieve meaningfulness or permanence in learning. This article describes the design of interactive environments taking into account not only the technology, but also intentionality as to meaningfulness of the didactic strategies mediated by such environments. Strategies are designed based on the neurogenetic characteristics that underlie the learning process itself. The partial results obtained in pilot tests suggest that the environments developed in this way achieve a more meaningful and long-term learning, when measured in terms of interest, motivation and assimilation, with improvements that surpass 50% relative, normalized gains <g> between 0.42 and 0.8.

**Keywords**— ICT; interactive environments; learning process; meaningful learning; teaching.

## 1. Introducción

La tecnología es una de las fuerzas que impulsan los cambios en la sociedad actual. Como tal está presente en todos los ámbitos del quehacer humano y por supuesto la educación está entre ellos [1]. Un creciente número de universidades en el mundo están promoviendo no sólo cursos sino carreras completas en línea. La misma educación presencial exige ya de

alguna manera un complemento virtual para acogerse al presente [2].

Una característica de la tecnología actual es la interactividad. El usuario está predispuesto a que puede generar acciones que tengan respuesta inmediata y que de alguna manera generen cambio en la forma en que el sistema actúa. En la línea didáctica, los sistemas interactivos buscan, al basarse en un sistema adaptativo, modelar al alumno para detectar su comportamiento y sus conocimientos previos para, teniendo en cuenta el enfoque pedagógico y didáctico que se desea seguir, proponer contenidos, métodos y medios para llevar a cabo el proceso de enseñanza-aprendizaje [3].

Si bien en muchos casos la tecnología educativa se complementa para su desarrollo de las concepciones pertinentes en pedagogía y didáctica, éste no es el caso general y se tiene un protagonismo exagerado del aspecto tecnológico en detrimento del educativo [4]. Otro aspecto relevante es que las consideraciones relativas al individuo en tanto ente biológico modelado por la evolución no están presentes de manera significativa, siendo sólo consideradas tangencialmente si es que se consideran [5].

En menor medida están presentes las consideraciones que emanarían de diseñar un entorno interactivo para el aprendizaje teniendo en la cuenta de manera explícita el modelado del individuo como ser biopsicosocial con un linaje biológico producto de la evolución que se materializa en su cerebro como herramienta para el aprendizaje [6]. Por ende se parte de considerar que el aprendizaje requiere para su activación de ciertas condiciones y precondiciones de tal manera que el individuo lo perciba como válido en tanto mecanismo para propiciar su supervivencia [7].

Dado que estos mecanismos están anclados en el inconsciente del individuo y que su activación se genera por situaciones que en la actualidad no son pertinentes, procede modelarlos a través de otras consideraciones. Una muy directa es la significatividad, es decir, el grado de relación que el aprendiz detecta entre lo que está aprendiendo y su propia vida [8].

Para la presente investigación se partió de un entorno interactivo diseñado con base en agentes computacionales. Cada uno de ellos tiene un determinado propósito en el entorno, como por ejemplo detectar algún comportamiento en el

**Como citar este artículo:** Parra-Plaza, J.A., Entornos interactivos en la educación. ¿Sólo cuestión de tecnología?. Educación en Ingeniería, 13(25), pp. 50-57, Febrero, 2018.

aprendiz, generar un contenido enfocado hacia algún objetivo o medir el tiempo de respuesta frente a algún interrogante. Los agentes que modifican el comportamiento de otros agentes se denominan agentes moduladores [9].

El diseño de tales agentes para mantener una intencionalidad hacia el aprendizaje significativo y su inserción en tiempos y medios en el entorno son los retos. El camino seguido fue el de relacionar el aprendizaje en tanto significativo con la potencial ventaja evolutiva que tal esfuerzo pueda implicar para el individuo de manera inconsciente [10].

En este artículo se describen las acciones empleadas para promover ese vínculo con el aprendizaje y su forma de inserción en didácticas mediadas tecnológicamente. Se muestran pruebas realizadas para corroborar su impacto y se evalúan los resultados obtenidos.

## 2. Metodología

### 2.1. Aprendizaje, evolución y tecnología

El aprendizaje es un proceso y se desencadena cuando se activa por la maquinaria genética que detecta un posible beneficio para el individuo en términos de lo que evolutivamente se considera como ventaja en tanto aporte a su supervivencia. En tiempos paleolíticos, tales ventajas se daban en aspectos como mayor rapidez para lograr mejores presas de caza, facilidad en dominar el lenguaje de otras tribus para así crear alianzas, o capacidad para detectar falsedad en el comportamiento de otros miembros de la comunidad para así establecer posiciones en el grupo [11].

En la actualidad la necesidad de aprender sigue por supuesto presente, pero los activadores que lo relacionan con la supervivencia no son inmediatos. Es posible decirle a un alumno que aprender a resolver ecuaciones diferenciales le permitirá entender mejor los temas de un curso siguiente, pero eso no basta para que su cerebro se involucre activamente en esa labor, la cual implica inversión de recursos. En ausencia de la detección clara de un beneficio en términos de supervivencia, las órdenes que debe emanar la red genética para preparar el cerebro para los cambios que implica el aprendizaje pueden darse muy tenuemente o incluso no darse, imposibilitando el aprendizaje auténtico [12].

En este sentido, es conveniente recurrir a la activación de tales detectores, pero mediante mecanismos indirectos que hagan posible su implementación en un sistema formal de educación, al tiempo que permita su abordaje mediante herramientas didácticas tanto convencionales como tecnológicas.

La propuesta implica un entorno tecnológico interactivo al cual el alumno puede acceder asincrónicamente y que complementa las sesiones presenciales que establecen el eje del curso. Las actividades en el entorno se basan en videos de corta duración tal como es la tendencia en el área.

Las diferencias fundamentales se relacionan con los siguientes aspectos: Uso de microevaluaciones para crear un perfil del alumno en cuanto a su estilo de aprendizaje, consideración de los momentos que deben tenerse en la actividad, diferenciando entre el ingreso a la misma, su desarrollo y su salida. La Fig. 1 describe el entorno.

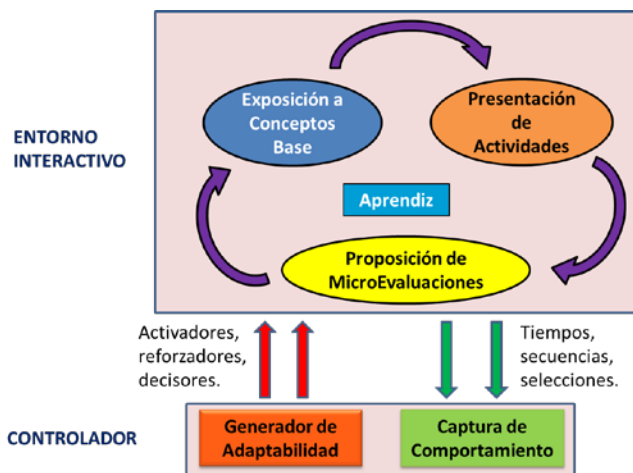


Figura 1. Entorno interactivo enfocado hacia el aprendizaje significativo. Fuente: El autor.

### 2.2. Primer momento: Ingreso a la actividad

Newton formalizó a través del concepto de *inercia* aquello que se reconoce en la vida diaria: la tendencia de todo sistema a permanecer como está [13]. El uso del concepto en los sistemas que estudia la ciencia o que desarrolla la ingeniería es evidente. A partir de reconocer esta dinámica se tiene claro que si se desea que un sistema cambie su estado se debe realizar una transición suave para que los componentes del sistema puedan adaptarse a los cambios que requiere transitar hacia el nuevo estado [14].

En el caso de los seres humanos, estas consideraciones parecen no tenerse en la cuenta sistemáticamente. Al pensar con respecto a los deportes y la actividad física se ha establecido la importancia de un *calentamiento* previo a la actividad en sí, de tal manera que los músculos puedan adaptarse a la nueva situación y pasar de un estado de reposo o actividad suave al nuevo estado de intensa actividad. Mediante el calentamiento se logra allegar más sangre a los músculos, activar la formación de hormonas y neurotransmisores que serán importantes en esta nueva situación y generar las condiciones físicas de temperatura y elongación necesarias para que el músculo trabaje sin sufrir daño [15].

En relación al aprendizaje no hay una consideración de la misma índole. Habitualmente no se tiene por norma que los alumnos al iniciar la clase realicen una forma equivalente de "calentamiento intelectual". Lo más cercano es el "calentamiento" que hace el profesor, más para su propio beneficio de forma que él o ella pueda vincularse a la actividad, en la forma de saludos, de alguna opinión sobre los asuntos del día o de un recordatorio de los temas tratados previamente.

Es como si se pensara que el cerebro se encuentra de manera natural predispuesto para entrar plenamente a una actividad cognitiva sin ningún tipo de preámbulo. Curiosamente esto invalidaría el concepto mismo de inercia, así que al menos en ese aspecto no se está considerando muy científicamente el propio proceso educativo.

Reconociendo este desfase, se hace evidente la importancia de realizar este mismo tránsito suave entre el estado previo del



aprendiz, antes de ingresar a la actividad de aprendizaje, y el estado en que se encontrará cuando el proceso de aprendizaje esté en marcha. A esta fase de transición se le considera aquí como el *ingreso*.

Tal como el calentamiento físico induce al músculo a disponerse en cierto estado, el ingreso procura predisponer al aprendiz en general y a su cerebro en particular para vincularse al proceso de aprendizaje. Surgen por lo tanto interrogantes al respecto: ¿Es necesario predisponer al cerebro para aprender?, ¿de qué manera se logra predisponer al cerebro para aprender?, ¿cómo se evalúa que el cerebro ya se encuentra predispuesto para el aprendizaje?

El primer interrogante manifiesta que el cerebro debe ser preparado para el acto de aprendizaje. Es necesario profundizar en este aspecto, puesto que en principio parece que el simple acto de matricularse en un programa formal de enseñanza o más inmediatamente el acto de entrar al aula de clase fuese suficiente, en el imaginario actual, para capacitar al cerebro a recibir información y procesarla en procura de generar conocimiento.

Antes que nada es imperioso reconocer el cerebro como una herramienta evolutiva, de tal manera que sus propósitos y su actividad de una u otra manera están influidos por la consigna biológica de todo ser vivo: sobrevivir, mantenerse con vida y eventualmente reproducirse. En ese contexto, el aprendizaje, en tanto una de las actividades del cerebro, apuntaría a ser vehículo de mediación evolutiva. Como tal, se entenderá como el proceso que ocurre en el cerebro de un individuo que interactúa con su objeto de estudio, con miras a interpretar sus características y darle sentido en cuanto a forma y función [16]. Sólo en la medida en que se establezca algún vínculo entre el esfuerzo cognitivo del aprendizaje y la consigna primaria de la supervivencia, se da vía operativa a que se desencadene el proceso.

Es cuando aparece el segundo interrogante, dado que el aprendizaje requiere que se satisfagan ciertas condiciones para poder llevarse a cabo. Como resultado evolutivo, el aprendizaje es en sus aspectos más esenciales una herramienta de supervivencia, por lo cual está sujeto a las normativas de pertinencia que la evolución provee. En tal sentido, afincado en la raíz del inconsciente está la premisa de que la maquinaria de aprendizaje se activa sólo en la medida en que tal acción se vea pertinente como elemento que favorezca la supervivencia del individuo. Una forma equivalente de reconocer tales condiciones es considerar la *significancia* en tanto requisito para el aprendizaje perdurable [17].

Cuando alguien se enfrenta con la posibilidad de aprender algo nuevo, su cerebro evalúa qué tan conveniente es invertir recursos en el esfuerzo de adquirir tal información y después analizarla para desarrollar conocimiento. Puesto que ese nuevo conocimiento puede entrar a competir con el conocimiento anterior que se tenía sobre ese tema, el cerebro podría requerir tomar una difícil decisión y determinar si debe insertar este nuevo conocimiento y remplazar en cierta medida al conocimiento anterior al respecto. El conocimiento ya generado, entendido como experiencia, es un bien muy valioso, y el cerebro lo atesora como tal. Así que evolutivamente no resulta beneficioso permitir su modificación irrestricta. Sólo en la medida en que tal esfuerzo rinda frutos, el cerebro lo tomará

como importante y decidirá ingresarlo a su conjunto de conocimientos [18].

El tercer interrogante permite analizar estas consideraciones en la construcción de herramientas apropiadas para el aprendizaje. Así como el instructor de un atleta reconoce que el calentamiento ya se ha realizado al observar evidencia como sudoración, aumento del ritmo cardíaco, o mayor rapidez al reaccionar ante estímulos, entre otros; el profesor puede evidenciar que el aprendiz ya ha hecho el ingreso a la actividad cognitiva por manifestaciones como cambio en la reacción ante interrogantes, exploración de alternativas o incluso cambios fisiológicos como movimiento de los ojos, gestos faciales o aumento del ritmo cardíaco.

Emplear esta evidencia para generar modificaciones en las actividades didácticas como tal se constituye en un principio de trabajo para permitir que un sistema artificial adaptativo actúe como mediador en el proceso de aprendizaje. Tal acción de modificación se reconoce como *modulación* y es la consideración sobre la cual se basa la presente investigación. Medir directamente los cambios fisiológicos, si bien puede proveer de información valiosa y de primera línea, es difícil de realizar si se ha de emplear un sistema para ser usado masivamente y/o para ser empleado remotamente. Por fortuna es posible determinar con precisión información similar suficiente al realizar medidas indirectas.

Otro de los mecanismos de supervivencia que ha evolucionado el ser humano puede servir de ejemplo para comparar entre las medidas directas e indirectas: la mentira. El ser humano es un ser comunitario. Si bien se obtiene beneficio al compartir las actividades con las otras personas de la comunidad, también se está en una situación de competencia con esos otros miembros por recursos como la alimentación, la vivienda o las parejas. En ese contexto es ventajoso que un individuo guarde para sí cierta información tanto del grupo como de sus actividades particulares, de allí que surja la mentira como mecanismo para preservar tal información del resto de la comunidad [19].

Incluso la mentira puede tener beneficios no sólo para competir sino también para cooperar [20], tal como se evidencia en el famoso juego del *Dilema del Prisionero* [21]. Dado el enorme valor evolutivo que la mentira posee, no es de extrañar que existan mecanismos explícitos en el cerebro para generarla y preservarla y que su medición directa sea difícil. Si bien es posible realizar inferencias mediante análisis estadístico de señales EEG, éstos requieren condiciones especiales y se restringen a situaciones particulares [22].

Es cuando el empleo de mediciones indirectas toma relevancia. Es sabido que mentir genera cambios en el patrón de sudoración [23] lo cual es el principio sobre el cual se rige la máquina detectora de mentiras para realizar su labor. Basar un resultado en una sola característica no es estadísticamente significativo, de tal manera que es conveniente proveerse de un cierto conjunto básico de las mismas.

En lugar de confiar sólo en el cambio en la sudoración, podrían considerarse otros cambios tales como *microexpresiones* que duran algunos milisegundos, la risa falsa que hace que la comisura de los labios se estire hacia los lados, cambio en la voz que se hace más aguda, movimientos repetitivos de las extremidades, sequedad en la garganta o

mayor frecuencia al parpadear [24]. De hecho algunos estudios indican hasta 35 características susceptibles de ser empleadas como manifestaciones de mentira [25].

De manera similar, detectar si un individuo ya manifiesta un cambio positivo hacia la inserción en una actividad de aprendizaje puede determinarse indirectamente al recolectar un cierto conjunto de cambios en su comportamiento tales como el tiempo que tarda en responder a ciertos estímulos, la profundidad que establece en el seguimiento de una secuencia de temas asociados, o el movimiento que realiza con el puntero sobre una pantalla gráfica, entre otros.

Estas características y otras más no sólo dan cuenta de la preparación del aprendiz para iniciar la actividad cognitiva, sino también de su relación con las otras etapas del proceso que se consideran a continuación.

### 2.3. Segundo momento: Desarrollo de la actividad

Una vez captada la atención del aprendiz, el reto siguiente es mantenerla. Este reto de hecho es mayor en la actualidad, dado que los niveles de atención de la persona promedio han disminuido ostensiblemente debido al gran influjo de la tecnología al presente.

Un estudio conducido con usuarios de teléfonos inteligentes mostró cómo la ventana de atención, que hacia el año 2000 estaba en unos 12 segundos, se ha reducido ahora a unos 8 segundos, de hecho por debajo de la que tienen especies como las aves o el pez de colores [26]. En otro estudio enfocado a analizar el nivel de atención de los usuarios en una tarea antes de pasar a otra, se determinó que en promedio las personas sólo logran resistir alrededor de 40 segundos en la tarea que realizan antes de pasar a otra tarea posible. Para continuar con las comparaciones, esto es menor al caso de un mosquito [27].

Dada la importancia de la atención como condición para facilitar el aprendizaje, conviene establecer a qué hace referencia la misma y analizar si la atención actualmente se ha deteriorado o simplemente se ha modificado. La evaluación de la atención se basa en las categorías planteadas por Sohlberg y Mateer [28]. En la misma se describen cinco niveles de atención incremental (ver Tabla 1).

Tabla 1  
Niveles de atención

Nivel	Descripción
1. Atención enfocada (fácil)	Responder a estímulos externos. Ejemplo: Reaccionar al contacto. Enfocarse permanentemente para realizar tareas repetitivas.
2. Atención sostenida	Ejemplo: Recordar instrucciones y realizarlas cuando sea necesario. Mantenerse enfocado mientras hay distracciones presentes.
3. Atención selectiva	Ejemplo: Realizar tareas ante distracciones como ruido y movimiento. Desplazar el enfoque entre tareas que necesitan diferentes habilidades.
4. Atención Alternativa	Ejemplo: Alternar entre preguntar, escuchar respuestas y escribir hechos. Responder al tiempo a múltiples tareas (cambio rápido de atención alterna.)
5. Atención dividida (difícil)	Ejemplo: Hablar por teléfono mientras envía un correo electrónico.

Fuente: Adaptado de [28].

Emplear esta categorización como referente para la creación y presentación de material y actividades permite que un sistema adaptativo genere contenidos en respuesta a la atención que perciba en el aprendiz en un momento dado en lugar de estandarizar las actividades para todos los alumnos de manera indiscriminada.

### 2.4. Tercer momento: Salida de la actividad

Así como la finalización de la actividad física sugiere realizar un *estiramiento* para que los músculos no sufran lesión y se pueda hacer un retorno a la actividad cotidiana y estar dispuesto para una subsiguiente actividad física, de igual manera sería apropiado que la finalización de la actividad intelectual en el proceso de aprendizaje culmine con una actividad que predisponga al individuo para ese retorno y esa continuación.

En el caso físico, el propósito de ese cierre es liberar los músculos de toxinas que al acumularse y permanecer evitará la restitución de la capacidad muscular plena. ¿Cuál es el equivalente al respecto en el caso intelectual? Curiosamente es posible establecer cierto vínculo directo con algo que podría ser la *toxicidad* en el plano cognitivo.

Cuando se está en el proceso de aprendizaje, el cerebro se encuentra ante un cúmulo de información, gran parte de ella novedosa, en tanto sea más ajeno el tema en cuestión al aprendiz.

Tal captura se realiza en tiempo real y no da tiempo a un procesamiento fino. El cerebro recurre a un escenario posterior para realizar esa depuración informativa. Ese momento es durante la etapa del sueño [29]. Es durante el mismo que el cerebro tiene la posibilidad de analizar la información captada durante la etapa de vigilia con miras a organizarla, preservar en forma de memoria aquella que considera relevante y desechar la que no, la cual correspondería a esas “toxinas” cognitivas [30].

Siendo éste un proceso inconsciente, se sigue que, desde el punto de vista procedimental, lo conveniente es generar actividad que permita a tal mecanismo la selección inducida de la información que se desea preservar a través del aprendizaje. Para ello la finalización o cierre de la actividad debería implicar la presentación de un tema abierto que haga que la posterior actividad de análisis onírico tenga insumos que inviten a una ulterior revisión y a dejar zonas grises para ser procesadas en siguientes actividades.

Una queja recurrente de los educadores es la falta de habilidad de los educandos en cuanto a poder elegir las herramientas más adecuadas para resolver un determinado problema. Esta carencia se debe a múltiples factores, entre los cuales el propio sistema educativo es en parte responsable [31].

Este acto de cierre se establece mediante una actividad de *reflexión*, es decir, la confrontación de lo visto en la sesión de trabajo con respecto a un contexto más amplio, ya sea la vida particular del individuo, la disciplina que estudia o las implicaciones que ésta tenga sobre la sociedad o el medio ambiente.

## 3. Pruebas y resultados

Para evaluar el impacto de las pautas psicoevolutivas consideradas sobre la mejora en el aprendizaje, se diseñó un entorno interactivo de aprendizaje teniendo en cuenta de manera explícita tales postulados. El entorno se implementó a través de página Web en donde la interactividad es soportada

por el modelo cliente-servidor haciendo uso de las herramientas que proveen JavaScript y JQuery para soportar el lado del cliente [32] y PHP y la pila MEAN para soportar el lado del servidor [33].

### 3.1. Tercer momento: salida de la actividad

El tema base seleccionado para la validación en el aprendizaje es el de sistemas de primer orden enseñado a estudiantes del área de automatización en la carrera de ingeniería electrónica. Para ello se empleó como eje los circuitos tipo Resistor-Capacitor, la transformada de Laplace y el análisis comportamental de la respuesta al escalón [34].

Las dificultades que se han reconocido como las más importantes por parte de los docentes y de la institución misma hacen referencia a la desconexión entre la teoría, en sus aspectos físicos y matemáticos, la práctica, relativas al manejo de ecuaciones para análisis y diseño, y la implementación, en cuanto se relaciona con la manera en que los aspectos anteriores se tienen en cuenta al momento de materializar un diseño en un sistema físico o de enfrentarse a un sistema ya existente con miras a detectar problemas en él o a realizar modificaciones.

La estrategia didáctica sugiere la consideración de los tres momentos discutidos: ingreso, desarrollo y salida de la actividad de aprendizaje. Para el caso del ingreso, el propósito es despertar el interés del estudiante a través de la curiosidad, al presentarle interrogantes que se relacionan ya sea con su vida diaria o con la experiencia directa sobre los sistemas electrónicos en los cuales hacen presencia los sistemas de primer orden. El entorno interactivo aleatoriamente escoge preguntas de un banco de interrogantes preparado para suscitar curiosidad (ver Tabla 2).

Para la fase de desarrollo se emplea como estrategia el uso intercalado de juegos. Desde el momento mismo de la fase de ingreso a través de los interrogantes de curiosidad junto con las microevaluaciones realizadas en la fase de desarrollo, el entorno va configurando una perfilación de cada alumno con miras a establecer sus estrategias de aprendizaje haciendo uso del modelo de cuadrantes para generar significación en el entorno.

El Modelo de Cuadrantes [35] identifica cuatro formas de aprender: analítica, holística, secuencial y emocional. A partir de las mismas, se crearon actividades materializadas a través de tres tipos de juegos: crucigramas, ahorcado y adivinar imágenes. Los juegos constituyen un mecanismo muy efectivo para involucrar a alguien en el aprendizaje, puesto que combinan diferentes aspectos

Tabla 2  
Ejemplos de interrogantes de curiosidad

Interrogante	Opciones
Usted pasa su dedo por la pantalla de su celular, pero éste no responde al comando táctil. Sus dedos están limpios y secos ¿Qué acción de éstas es más apropiada?	a. Presionar la pantalla más fuerte b. Deslizar su dedo más rápido c. Frotar sus manos y reintentar
Un condensador electrolítico tiene forma cilíndrica porque ...	Pregunta abierta
¿Qué ocurre si se perfora un condensador electrolítico?	a. Expulsa un líquido b. Estalla c. Depende del voltaje que tenga d. Nada

Fuente: El autor.

Tabla 3  
Relación entre estilos de aprendizaje y actividades

Estilo	Actividad
1. Analítico	Comprobación en la práctica.
2. Holístico	Simulación.
3. Secuencial	Demostración.
4. Emocional	Comparación.

Fuente: El autor.

tales como la curiosidad, la detección de patrones o el reto, para todos los cuales el ser humano posee una predisposición e interés natural [36].

La fase de salida involucra establecer una reflexión para expandir el conocimiento, para vincular lo visto en la sesión con un contexto mayor. En este caso se plantean reflexiones como ésta: Calentar agua tiene un comportamiento similar al de un circuito RC. Se desea calentar un litro de agua hasta 80°C, ¿qué acción lo hace más rápido?

- Calentar todo el litro hasta 80°C
- Calentar medio litro hasta 80°C, añadir el otro medio litro y calentar hasta 80°C
- Dividir el litro en diez recipientes con igual cantidad. Calentar la primera décima hasta 80°C, añadir la segunda décima hasta 80°C, repetir lo mismo para las otras décimas

Según el estilo de aprendizaje detectado, se propuso a cada estudiante una actividad extracurricular para comprobar su hipótesis, escogida por el entorno entre las opciones indicadas en la Tabla 3 de acuerdo con el estilo de aprendizaje detectado.

Como se estableció, el propósito es suscitar actividad inconsciente durante el sueño posterior a la sesión de trabajo y los siguientes días, más bien noches, hasta que se presente la siguiente actividad o la sesión presencial con el profesor. El propósito es permitirle al cerebro madurar ideas, contrastar conceptos y predisponerse para un estadio superior de aprendizaje en la sesión siguiente, algo difícil o imposible de lograr en un continuo en la misma sesión sin que medie el mecanismo biológico del sueño y su actividad inconsciente de organización de la información y creación de conocimiento.

### 3.2. Resultados

Para determinar el impacto que el empleo intencional de las diferentes estrategias en cada momento o fase del proceso podría tener en el aprendizaje, se realizaron diferentes pruebas a grupos de alumnos. En todos los casos, cada alumno interactuó con el entorno interactivo para aprender el tema específico, para lo cual se establecieron tres grupos, cada uno de 30 alumnos: A) grupo control: alumnos para quienes la presentación de contenidos se realizó de forma homogénea, de acuerdo con una programación inicial por parte del profesor, B) alumnos a quienes previamente se les realizó una prueba estándar de Modelo de Cuadrantes elaborada tomando por guía a [37, 38] y para quienes la intervención se realizó sólo en la fase de desarrollo empleando los juegos tomando por base los resultados de tal prueba, C) alumnos a quienes la intervención se realizó en los tres momentos, y a quienes también se les realizó la prueba de Modelo de Cuadrantes tal como se indicó para el grupo B.

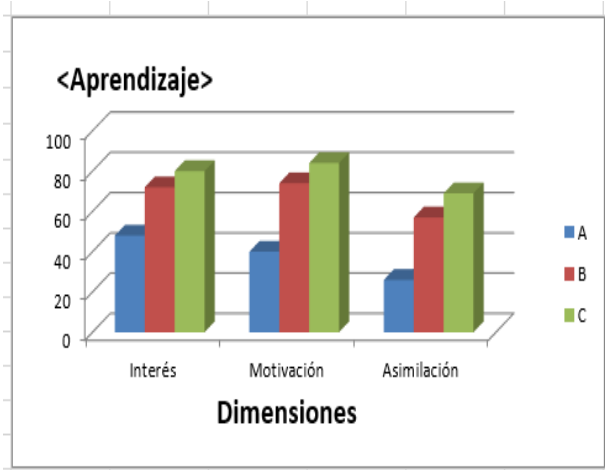


Figura 2. Métricas de aprendizaje para los primeros grupos considerados. Fuente: El autor.

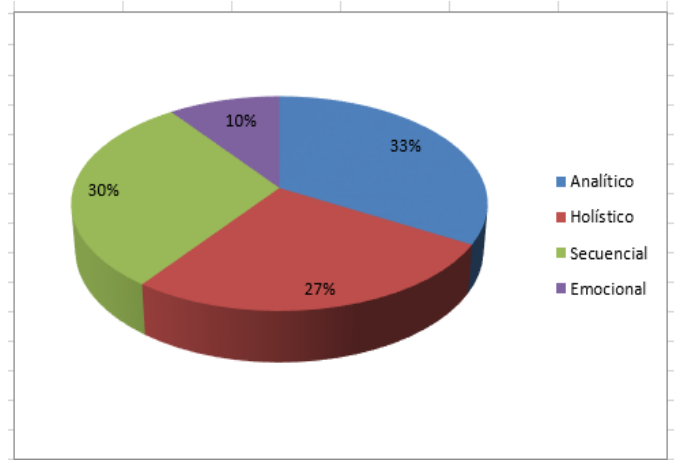


Figura 3. Estilos de aprendizaje por detección automática para el grupo D. Fuente: El autor.

La Fig. 2 muestra los resultados de las medidas de aprendizaje realizadas, los valores son el promedio por cada grupo y están dados en porcentajes, donde el 100% es el valor perfecto de la categoría. Se tomaron tres aspectos: interés, motivación y asimilación. El interés se midió como el tiempo promedio que permanecía el alumno en una sesión de estudio, la motivación es el número de temas de estudio que consultó de los disponibles en la sesión y la asimilación se determinó como la cantidad de respuestas correctas que obtuvo el alumno en una prueba de suficiencia realizada un mes después de haber estudiado el tema.

Se observa que la detección de estilos de aprendizaje como insumo para la presentación de contenidos genera mejorías con respecto a la presentación homogénea de los mismos, contrastando los valores para los grupos A y B. A su vez, se observa cómo la inclusión de los otros momentos, inicio y salida, evidenció mejorías ulteriores, tal como indica los mayores valores del grupo C con respecto al grupo B. La diferencia más notable se da en la asimilación, en donde la inclusión de todos los aspectos hace que la retención y aplicación ulterior de conocimientos más que se duplique con respecto a la forma convencional de instrucción, incluso siendo ésta mediada tecnológicamente.

Con miras a establecer en qué medida el entorno tecnológico no sólo permite la presentación de material sino también la detección confiable de comportamientos en los aprendices, se incluyó un cuarto grupo (D). En este grupo se realizó la detección de estilos de aprendizaje no mediante un cuestionario, sino dinámicamente según el enfoque dado en [39], arrojando la distribución que se indica en la Fig. 3.

Esta información de estilos de aprendizaje se anexó como punto de partida para el módulo gestor de juegos, el cual los presentó a cada alumno en particular teniendo en cuenta el estilo de aprendizaje detectado. La Fig. 4 presenta las medidas de aprendizaje incluyendo al nuevo grupo D.

Se observa que los resultados para el grupo D superan a todos los otros grupos. Este resultado sugiere que la mediación tecnológica puede abarcar diferentes aspectos del proceso de aprendizaje y que los resultados que se obtienen por cierto módulo del entorno pueden alimentar otros módulos para así crear un soporte tecnológico más robusto.

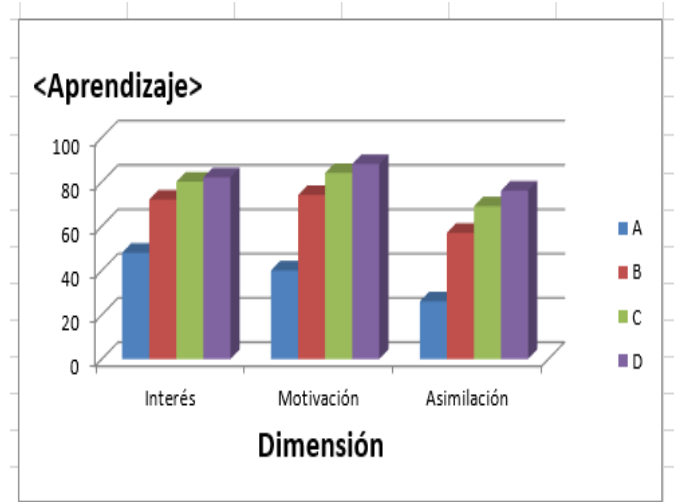


Figura 4. Métricas de aprendizaje para todos los grupos considerados. Fuente: El autor.

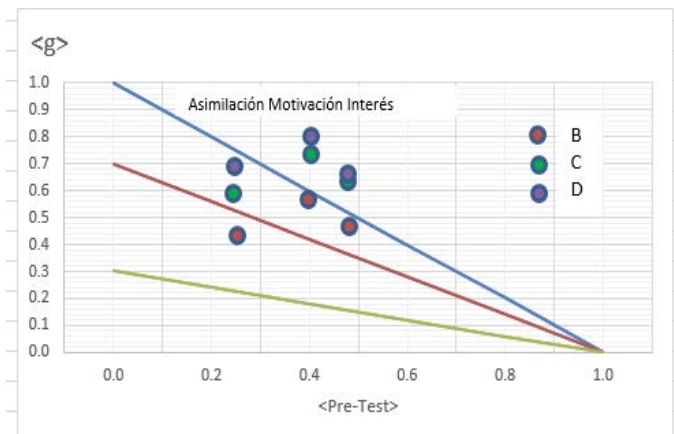


Figura 5. Ganancia normalizada vs promedio del pre-test. Según Hake, se presentan tres regiones de interés: alta ganancia entre 0.7 y 1.0, media ganancia entre 0.3 y 0.7 y baja ganancia entre 0.0 y 0.3. En el caso presente se tienen valores para estas ganancias en las regiones medias y altas, con valores entre 0.42 y 0.8.

Fuente: El autor.

Otra forma de cotejar la información y de analizar la mejoría en el aprendizaje es comparando los resultados de los grupos B, C y D con respecto a la exposición base representada por el grupo A. Haciendo uso del indicador de aprendizaje ganancia promedio normalizada,  $\langle g \rangle$  de Hake [40] se obtiene la gráfica presentada en la Fig. 5.

#### 4. Conclusiones

El aprendizaje de un alumno es susceptible de ser mejorado si se tiene en cuenta su dimensionalidad como ser complejo biopsicosocial.

La consideración del aprendizaje como un proceso y de la necesidad de separar en momentos las sesiones de aprendizaje permite diseñar estrategias particulares para cada momento que activen aspectos particulares del inconsciente del aprendiz que promuevan significatividad.

El diseño de las actividades tomando como base la evolución, es decir, la modulación neurogenética, y su impronta en cuanto al comportamiento general de los individuos permite de forma intencional evaluar la eficiencia del proceso didáctico.

La información relativa a los estilos de aprendizaje que cada alumno tiene es valiosa como insumo para determinar qué recursos didácticos son procedentes con miras a generar aprendizaje contextualizado y son un complemento apropiado de los moduladores.

El uso de tecnología para generar los moduladores, para detectar perfiles de los alumnos y generar contenidos que incrementen la significatividad y por ende el aprendizaje es un apoyo que facilita al profesor poder materializar sus estrategias de enseñanza de formas más elaboradas manteniendo sus esfuerzos en niveles adecuados.

La inclusión de técnicas tan básicas como las curiosidades, los juegos y las reflexiones mostró ser de gran valor si éstos poseen una intencionalidad de incrementar la significatividad. Si se combinan con la detección de estilos de aprendizaje realizada por la plataforma tecnológica, se está frente a un promisorio entorno significativo de aprendizaje.

La suma de técnicas que son apropiadas de manera independiente puede redundar en una ulterior mejora. En el caso presente, la perfilación por estilos de aprendizaje ayudó al medio tecnológico a incrementar la significancia al ser combinada con los moduladores neurogenéticos.

#### Referencias

[1] Kelly, R., 11° Ed. Tech Trends to Watch in 2017. [online]. Available at: <https://campustechnology.com/articles/2017/01/18/11-ed-tech-trends-to-watch-in-2017.aspx>, 2017.

[2] Pelet, J., E-Learning 2.0 technologies and web applications in higher education advances, in: Higher Education and Professional Development, IGI Global, 2013.

[3] Soledad, C., Sistemas inteligentes en la educación: Una revisión de las líneas de investigación y aplicaciones actuales. RELIEVE: 10(1), pp. 3-22, 2004.

[4] Parra-Plaza, J.A., Aprendizaje significativo y sociedad del conocimiento. Órbita Científica, [en línea]. 22, 2016, Disponible en: [http://rorbita.ucapejv.edu.cu/index.php/rOrb/article/view/223/html\\_6](http://rorbita.ucapejv.edu.cu/index.php/rOrb/article/view/223/html_6)

[5] Parra-Plaza, J.A., Propiciando el aprendizaje significativo en entornos interactivos mediante la inserción de moduladores neurogenéticos. Compdes, Guatemala, 2017.

[6] Parra-Plaza, J.A., Mejora de la experiencia de videojugador usando inteligencia computacional biomolecular. X Congreso Internacional de Electrónica, Control y Telecomunicaciones, Bogotá, 2014.

[7] Moore, B., The evolution of learning. Biol Rev Camb Philos Soc, 79(2), pp. 301-35, 2004. DOI: 10.1017/S1464793103006225

[8] Ausubel, D., Educational psychology: A cognitive view, New York: Holt, Rinehart & Winston, 1968.

[9] Parra-Plaza, J.A., Modelo didáctico basado en entornos interactivos enfocados hacia el aprendizaje significativo. II Congreso Internacional de Pedagogía, Didáctica y TIC aplicadas a la Educación, Bogotá, 2015.

[10] Doyle, T. and Zakrajsek, T., The new science of learning: How to learn in harmony with your brain, Stylus Publishing, 2013.

[11] Weber, B. and Depew, D., Evolution and learning: The Baldwin effect reconsidered (Life and mind: Philosophical issues in biology and psychology), Bradford Book, 2007.

[12] Willingham, D., Why don't students like school?: A cognitive scientist answers questions about how the mind works and what it means for the classroom, Jossey-Bass, 2010.

[13] Escotado, A., Principios matemáticos de la filosofía natural - Isaac Newton, Tecnos, 2011.

[14] van der Schaft, A., An introduction to hybrid dynamical systems, University of Twente, 1999.

[15] Fradkin, A. Gabbe, B. and Cameron, P., Does warming up prevent injury in sport?. The evidence from randomised controlled trials. J Sci Med Sport, 9(3), pp. 214-220, 2006. DOI: 10.1016/j.jsams.2006.03.026

[16] Eagleman, D., Incognito: The secret lives of the brain, Canongate Books, 2012.

[17] Ausubel, D. Novak, J. and Hanesian, H., Educational psychology: A cognitive view, Holt, Rinehart & Winston, 1978.

[18] Dennett, D., From bacteria to bach and back: The evolution of minds, W. W. Norton & Company, 2017.

[19] Smith, D., Why we lie: The evolutionary roots of deception and the unconscious mind, St. Martin's Griffin, 2007.

[20] McNally, L. and Jackson, A., Cooperation creates selection for tactical deception. Proceedings of the Royal Society B, 2013. DOI: 10.1098/rspb.2013.0699

[21] Stewart, A. and Plotkin, A., From extortion to generosity, evolution in the Iterated Prisoner's Dilemma. PNAS Early Edition. 110, pp. 15348-15353, 2013.

[22] Kazi, S. and Harne, B., Statistical signal processing of EEG signals for lie detection. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 4(4), pp. 2654-2660, 2015. DOI: 10.15662/ijareeie.2015.0404116

[23] Gramzow, R., Willard, G. and Mendes, W., Big tales and cool heads: Academic exaggeration is related to cardiac vagal reactivity. Emotion, 8(1), pp. 138-144, 2008. DOI: 10.1037/1528-3542.8.1.138

[24] Pease, A. y Pease, B., El lenguaje del cuerpo, Amat Editorial, 2010.

[25] Ekman, P., Nonverbal messages: Cracking the code, Paul Ekman Group, 2016.

[26] Brain, S., Attention span statistics. [online]. Available at: <http://www.statisticbrain.com/attention-span-statistics/>, 2017.

[27] Mark, G., Work, email, distraction, repeat: Switching tasks is ruining your workflow. [online]. Available at: <https://rework.withgoogle.com/blog/switching-tasks-ruins-workflow/>, 2017.

[28] Sohlberg, M. and Mateer, C., Cognitive rehabilitation: An integrative neuropsychological approach, The Guilford Press, 2001.

[29] Wamsley, E., Tucker, M., Payne, J., Benavides, J. and Stickgold, R., Dreaming of a learning task is associated with enhanced sleep-dependent memory consolidation. Current Biology May 11; 20(9), pp. 850-855, 2010. DOI: 10.1016/j.cub.2010.03.027

[30] Stickgold, R. and Walker, M., Sleep-dependent memory triage: Evolving generalization through selective processing. Nature Neuroscience 16, pp. 139-145, 2013. DOI: 10.1038/nn.3303

[31] Delgado, C., Nuevas tecnologías y zona de desarrollo próximo, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004.

[32] Dayley, B., jQuery and JavaScript phrasebook, Pearson, 2014.

- [33] Dickey, J., *Write modern Web apps with the MEAN stack: Mongo, Express, AngularJS, and Node.js*, Pearson, 2015.
- [34] Nise, N., *Control Systems Engineering*, Wiley, 2015.
- [35] Herrmann, N., *El libro de negocios de todo el cerebro*, McGraw-Hill, 1996.
- [36] Huizinga, J., *Homo ludens*, Alianza Editorial, 2007.
- [37] Gómez, D., *Estilos de aprendizaje en los estudiantes universitarios con base en el modelo de hemisferio cerebrales*. *Revista Académica de la Investigación*, 11, pp. 2-23, 2012.
- [38] Carvajal, P. y Barros, A., *Análisis estadístico multivariado de los estilos de aprendizaje predominantes en estudiantes de ingenierías de la Universidad Tecnológica de Pereira - II - II semestre de 2006*. *Scientia Et Technica*, XIII (34), 2007.
- [39] Parra-Plaza, J.A., *Inteligencia computacional fuertemente bioinspirada enfocada hacia el aprendizaje significativo*. *CICOM - Congreso Internacional de Computación*, Cartagena, 2015.
- [40] Roychoudhury, A., Gabel, D. and Hake, R., *Inducing and measuring conceptual change in introductory-course physics students*. *AAPT Announcer*, 19(4), p. 64, 1989.
- J.A. Parra-Plaza**, recibió el título de Ing. Electricista en 1991, de MSc. en Automática en 1997 y de Dr. en Ingeniería – Electrónica y Computación en 2012, todos ellos de la Universidad del Valle, Cali, Colombia. De 1995 a 2012 trabajó en la Pontificia Universidad Javeriana. Se vinculó a la Institución Universitaria Antonio José Camacho, Cali en el año 2013 como profesor asociado. Entre los años 2014 y 2015 fue director del Grupo de investigaciones Gicat. Actualmente es investigador asociado al Grupo Inteligo y es estudiante de doctorado en Ciencias Pedagógicas de la Universidad Enrique José Varona de La Habana, Cuba. Sus intereses investigativos incluyen: sistemas complejos, sistemas empotrados y sistemas adaptativos empleando computación, inteligencia artificial fuertemente bioinspirada y hardware reconfigurable.  
ORCID: 0000-0002-4255-5296

# Hacia la integración efectiva de un modelo por competencias en la carrera de ingeniería de la Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional: Entre la formación inicial y la formación docente

Nidia Antonia Dalfaro, Patricia Belén Demuth-Mercado, Nancy Francisca Aguilar & Carmen Graciela del Valle

*Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional de Argentina. nfdalfaro@frre.utn.edu.ar, patriciademuth@hotmail.com, nfaquilar13@yahoo.com.ar, cgdelvalle2002@yahoo.com.ar*

**Resumen**— Se presentan los resultados de una investigación sobre estrategias activas para la construcción de competencias matemáticas en carreras de ingeniería, Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.

Aplicamos la estrategia Aprendizaje Basado en Problemas para desarrollar el tema Transformaciones Lineales en la asignatura Álgebra y Geometría Analítica y Grafos en Matemática Discreta.

A los estudiantes se suministró una encuesta para indagar el grado de satisfacción respecto de la propuesta y sus procesos de aprendizaje. También se trabajó con docentes de Ciencias Básicas en propuestas de formación.

Se destaca la mejora de resultados de aprendizaje, y la valoración positiva de los estudiantes respecto del proceso. En relación con los docentes, a partir de la experiencia de investigación-acción que adquirió el grupo, dio como resultado la apertura de un nuevo ciclo de observación - Intervención - evaluación, con asignaturas pertenecientes a profesores que realizaron nuestros cursos, cerrando así un ciclo que consideramos virtuoso.

**Palabras Clave**— formación por competencias; aprendizaje basado en problemas; ingeniería.

Recibido para revisar Septiembre 17 de 2017, aceptado Octubre 13 de 2017, versión final Octubre 24 de 2017

## The results of an active research process to build math skills in engineering careers training strategies are presented

**Abstract**— We present the results of a research on active strategies for the construction of mathematical competences in engineering careers, Resistencia Regional Faculty, National Technological University, Argentina.

We apply the Problem-Based Learning strategy to develop the topic Linear Transformations in the subject Algebra and Analytical Geometry and Graphs in Discrete Mathematics.

The students were given a survey to investigate the degree of satisfaction with the proposal and the learning processes. We also worked with teachers of Basic Sciences in training proposals.

Emphasis is given to improvement of learning outcomes, and the positive assessment of students regarding the process. In relation to teachers, based on the research-action experience acquired by the group, resulted in the opening of a new cycle of observation - Intervention - evaluation, with subjects belonging to teachers who completed our courses, thus closing a cycle which we consider virtuous.

**Keywords**— Competences training; problem based learning; engineering.

## 1. Introducción

La enseñanza universitaria se encuentra, hace unos años, ante un gran desafío por la urgente necesidad de preparar a los estudiantes para que puedan adaptarse a una sociedad muy competitiva y en continua transformación.

Sumado a esto, la gran deserción que se produce en el primer nivel de las carreras de ingeniería de nuestro país, de la que no escapan las carreras que se dictan en la Facultad Regional Resistencia (FRRe) de la Universidad Tecnológica Nacional. Ello constituye una preocupación, en forma particular para los integrantes del Grupo de Investigación Educativa sobre Ingeniería (GIESIN) y los profesores de esta Facultad.

Ante esta situación consideramos que era necesario un cambio de estrategias docentes aplicando nuevas metodologías de enseñanza y aprendizaje. Las mismas deben ser acordes a nuestros contextos universitarios, en los que se promueva el aprendizaje por competencias de manera gradual y en un entorno de estudio sistemático.

El equipo de investigación antes mencionado viene desarrollando actividades de indagación sobre competencias desde hace siete años. Los resultados obtenidos fueron muy positivos desde la mirada tanto de docentes como de alumnos intervinientes. Esto nos animó a seguir avanzando con la aplicación de los conocimientos obtenidos en otras asignaturas más específicas. Para ello nos propusimos realizar un estudio de indagación-intervención. Con esto queremos señalar que, a partir de lo relevado años atrás, avanzamos hacia el planteo de los resultados de una investigación-acción (I-A) mediante propuestas de enseñanza concretas como el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), su seguimiento sistemático y correspondiente evaluación, como su posterior retroalimentación para realizar los ajustes correspondientes.

Nos basamos en esta estrategia porque por sus características, es una de las que más coadyuva en el desarrollo de competencias. En la primera etapa del proyecto realizamos la implementación de la misma en dos asignaturas: Matemática

**Como citar este artículo:** Dalfaro, N.A., Demuth, P.B., Aguilar, N.F. and Del Valle, C.G., Hacia la integración efectiva de un modelo por competencias en la carrera de ingeniería de la Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional: Entre la formación inicial y la formación docente. *Educación en Ingeniería*, 13(25), pp. 58-63, Febrero, 2018.

Discreta de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información (ISI) y Álgebra y Geometría Analítica de Ingeniería Electromecánica (IEM). Esta experiencia fue altamente positiva desde el punto de vista tanto de docentes como de alumnos según se verificó en sendas encuestas y entrevistas realizadas. Asimismo, se observó una importante mejora en el rendimiento académico en aquellos temas que se trabajaron con el ABP. Como corolario de esta experiencia se decidió transferir los descubrimientos realizados mediante un curso de capacitación para docentes. En ese marco, surgió la inquietud de algunas autoridades presentes de continuar esta investigación en las materias de las carreras de IEM e Ingeniería Química (IQ). En ambas carreras se seleccionará una materia del tronco integrador con las cuales se trabajará. La elección de cada una de ellas recaerá en los departamentos respectivos que han prestado su aval para este proyecto. Las definiciones institucionales y curriculares a este respecto son desarrolladas en el apartado 2.

Desde esta perspectiva parece claro que la estrategia del ABP cumpliría acabadamente con los objetivos de propiciar el desarrollo de competencias específicas ingenieriles. Sin embargo, la realidad muestra que aún falta mucho camino por recorrer para considerar que esta perspectiva está integrada al curriculum en todo el contexto de las carreras. A partir de relevamientos realizados a docentes de las asignaturas, pudimos constatar que el desarrollo de estrategias tradicionales siguen generando las mismas situaciones: exceso de contenidos, desinterés estudiantil, desánimo docente, entre otras.

## 2. La investigación – Acción como estrategia de integración del modelo por competencias a las carreras

Por la fuerte conexión que tiene con la práctica docente, la Investigación-Acción puede definirse por su propio método de trabajo, que tiene como ejes centrales los siguientes ciclos o fases: planificación, acción, observación y reflexión. Estas fases mantienen una interrelación constante conformando, según Carr y Kemmis [1] una espiral autorreflexiva. Según Elliott [2] la I-A, es una forma de autoperfeccionamiento por parte del profesor. En este sentido, sus objetivos son:

- Mejorar la calidad de la enseñanza por medio de la investigación cooperativa en la acción, en un campo de común interés en este caso, la matemática como disciplina básica para las carreras de ingeniería.
- Contribuir al desarrollo institucional de la Facultad Regional Resistencia en materia de docencia universitaria.
- Coadyuvar en el desarrollo de una cultura profesional común, formando un banco de conocimientos profesionales relativos a los procesos de enseñanza y de aprendizaje.

Por lo expuesto, esta metodología de trabajo ha sido la más adecuada para realizar esta investigación, ya que además promueve el autoperfeccionamiento de los docentes de las asignaturas que constituyen la muestra.

Respecto del Modelo por competencias:

Esta red de acepciones que se entranan alrededor del modelo por competencias nos ha llevado a circunscribir las mismas, a una serie de consideraciones teóricas que quisiéramos explicitar, para ubicarnos en la tradición investigativa.

Diferentes organismos nacionales e internacionales han establecido de manera más o menos homogénea, que las mismas son habilidades o capacidades efectivas. Es decir que poseer una competencia implica ser capaz de resolver problemas determinados y llevar adelante tareas con éxito (OCDE; González y Wagenaar; CONFEDI [3-5]). No sólo están ligadas a aspectos cognitivos, sino también emocionales y afectivos, incluyendo los valores y las actitudes como aspectos constitutivos, facilitadores u obstaculizadores del desarrollo de las mismas.

La definición adoptada por Duque se ajusta al caso particular de educación en ingeniería. Una competencia se refiere a aquellas actividades que el ingeniero ejerce haciendo uso del conocimiento, las habilidades, actitudes y herramientas disponibles para cumplir un fin determinado (en Mejía et al) [6].

Para esta investigación se recurrió fundamentalmente a dos trabajos considerados relevantes para su tratamiento, éstos son: el libro “Formar personas competentes”, publicado por Mastache [7] en el año 2007 y los documentos del Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI). Ambos trabajos nos permitieron obtener esta definición general de “competencias” y sus diferentes tipologías, al momento de abordarlas en el marco de la educación superior universitaria y en función de los objetivos de aprendizaje del nivel.

En este sentido, Mastache realiza un recorrido histórico sobre la genealogía del término “competencias” y la relaciona fundamentalmente con el ámbito profesional, distinguiéndola de las competencias “Académicas” que “aluden al desempeño adecuado en el ámbito académico, “a la posibilidad de realizar correctamente las tareas o actividades de aprendizaje que les sean propuestas”. Sino que alude al complejo integrado de “conocimientos, habilidades, destrezas, actitudes, requeridos para un correcto desempeño en el rol de alumno”.

Sumado a lo anterior y completando un complejo panorama de teorizaciones, en mayo del 2007, el CONFEDI elaboró el Primer Acuerdo sobre Competencias Genéricas. Al interior de esta definición de competencias académicas necesarias para el estudio de la ingeniería, el documento identifica tres tipos:

- A. Las competencias básicas: que aluden a capacidades complejas y generales necesarias para cualquier tipo de actividad intelectual. Como ser la comprensión lectora; la producción de textos; el manejo de distintas estrategias de aprendizajes y la resolución de problemas, la capacidad de reflexión sobre sus procesos de aprendizaje, de trabajo en grupo, “aprender a aprender” (Quintana Puschel) [8].
- B. En segundo lugar, las competencias transversales que refieren a capacidades claves para los estudios superiores. Como, por ejemplo: la autonomía en el aprendizaje y las destrezas cognitivas generales.
- C. Por último, y estrechamente vinculado con la presente indagación las competencias específicas para el estudio de las carreras de ingeniería. Entre ellas se incluyen: la matemática, la física y la química, y remiten a un conjunto de capacidades relacionadas entre sí, que permiten desempeños satisfactorios en el estudio de dichas asignaturas.

Posteriormente a estas definiciones, en el año 2013, la Asamblea General de la Asociación Iberoamericana de Entidades de Enseñanza de la Ingeniería adopta como propia la



síntesis de competencias genéricas de egreso acordadas por el CONFEDI, dando lugar a la “Declaración de Valparaíso” sobre Competencias Genéricas de Egreso del Ingeniero Iberoamericano. Se detallan a continuación las estrictamente vinculadas con nuestro trabajo:

Competencias Genéricas, vinculadas a las competencias profesionales comunes a todos los ingenieros y Competencias Específicas, competencias profesionales comunes a los ingenieros de una misma especialidad.

A su vez, desagregaron tales competencias en términos de Capacidades Asociadas Integradas y Capacidades Componentes, para explicitar la capacidad misma y para diseñar estrategias de aprendizaje y evaluación

Los objetivos de toda formación por competencias plantean (a) la articulación de los conocimientos conceptuales, procedimentales y actitudinales; (b) se apoyan en los rasgos de personalidad del sujeto para construir el aprendizaje y (c) exigen la acción reflexiva, ya que se aleja del comportamiento estandarizado. Cada situación es nueva y diferente (Cano) [9]. Como medio de desarrollo y aprendizaje de las mismas, coincidimos claramente en que “La resolución de problemas es el mejor camino para desarrollar estas competencias ya que es capaz de activar las capacidades básicas del individuo” (Cf. Rupérez Padrón) [10].

Desde el punto de vista institucional, la Resolución 326/92 del Consejo Superior que fija las pautas del nuevo diseño curricular de la UTN, manifiesta que: “un estudiante se va a formar como profesional realizando los procesos característicos de la profesión”. Y que “...se formará como pensador en los problemas básicos que dan origen a su carrera si se enfrenta con ellos desde el principio” En ese marco, plantea además que: “el diseño curricular debe estructurarse en función de un tronco integrador, como línea curricular que se desarrolla a lo largo de toda la carrera a través de materias integradoras. En las mismas se plantean instancias sintetizadoras que incluyen un trabajo ingenieril partiendo de problemas básicos de la profesión”.

Por lo tanto, trabajar el modelo por competencias desde el aprendizaje basado en problemas implica trabajar de manera integrada los contenidos con la finalidad de:

- “Otorgar significación a los aprendizajes”.
- “Desarrollar conocimientos y procesos relacionados con la práctica ingenieril”.
- “Crear necesidades de adquisición de conocimientos que conduzcan a construir aprendizajes por aproximaciones sucesivas (ampliándolos y profundizándolos para completar las soluciones a situaciones problemáticas planteadas)”.

### 3. Metodología

Nos fue evidente que para trabajar con esta metodología debe darse un cambio en cuanto a los roles tradicionales del profesor y los estudiantes tan asentados en la formación inicial del ingeniero en nuestra institución. Desde esta perspectiva, los responsables de sus propios aprendizajes son los alumnos, el profesor se convierte en un orientador y facilitador.

Teniendo presente que los cambios en las estrategias de enseñanza no siempre son aceptados, como lo expresan Matus Félix y Guzmán Pérez [11], hemos iniciado un proceso de indagación sistemática, con la intención de estudiar los procesos de aprendizaje y desaprendizaje que han debido realizar tanto estudiantes como

docentes, en materia de las dinámicas de otros métodos que tienden a delimitar los problemas y a definir las preguntas planteadas como el hilo conductor del trabajo principal y a establecer soluciones específicas al problema.

En este sentido, y desde el planteamiento de problemas específicos, los estudiantes desarrollarían las habilidades para utilizar y relacionar los números, sus operaciones básicas, los símbolos y las formas de expresión y razonamiento matemático, tanto para producir e interpretar distintos tipos de información, como para ampliar el conocimiento sobre aspectos cuantitativos y espaciales de la realidad; y no sólo ejercicios específicos desconectados entre sí, y respecto del perfil profesional.

En el trabajo realizado por Rupérez Padrón y García Déniz [10] se aclara, además, que “Centrar la actividad matemática en la resolución de problemas es una buena forma de convencer al alumnado de la importancia de pensar en lo que hace y en cómo lo hace”.

En cuanto a la metodología ABP, Barrows [12] la define como un método de aprendizaje basado en el principio de usar problemas como punto de partida para la adquisición e integración de los nuevos conocimientos.

Sus características fundamentales fueron fijadas por este autor, entre ellas podemos citar: el aprendizaje está centrado en el alumno, se produce en pequeños grupos, los profesores son facilitadores o guías, los problemas son el foco de organización y estímulo para el aprendizaje y la nueva información se adquiere a través del aprendizaje autodirigido.

Además “el ABP garantiza tanto la adquisición de conocimientos como el desarrollo de habilidades y actitudes ante el aprendizaje (...) incide tanto en el desarrollo de una base de conocimientos relevante, con profundidad y flexibilidad, como en la adquisición de habilidades y actitudes necesarias para el aprendizaje y ciertamente generalizables a otros contextos (responsabilidad en el propio aprendizaje, evaluación crítica, relaciones interpersonales, colaboración en el seno de un equipo, etc)” (Escribano et al) [13].

Este método se caracteriza por la organización del proceso en pequeños grupos de estudiantes que interactúan con el profesor. Se puede decir que los alumnos aprenden “de” y “con” los demás. Deben realizar estudios en forma individual y grupal.

Cada grupo debe elegir un coordinador de las discusiones y un secretario que debe tomar nota de los acuerdos.

En primer lugar, el profesor presenta el problema que los alumnos deben resolver. Los grupos deben identificar las necesidades de aprendizaje y buscar los materiales necesarios, libros, sitios web, apuntes de cátedra, etc.

El profesor debe guiar la búsqueda, comprensión e integración de los conceptos básicos de la asignatura.

Por último, los grupos buscan la solución o las soluciones del problema o justifican si no pudieron resolverlo.

### 4. Nuestra experiencia: pasos firmes hacia la integración curricular de la mano del ABP

Por los resultados anteriores, concluimos que el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) sería una alternativa válida para promover la construcción de competencias matemáticas en alumnos de primer año de Ingeniería. En este recorrido de investigación, y a través de pruebas pilotos específicas, llegamos a la conclusión de la necesidad de plantear que para la

construcción de las competencias matemáticas en la formación del ingeniero era necesario tener en cuenta su gran utilidad para resolver problemas relacionados con la vida cotidiana y con el mundo laboral (Dalfaro et al) [14].

A partir de lo relevado trabajamos en una investigación-acción (I-A), en dos asignaturas de primer año de las ingenierías: Álgebra y Geometría Analítica y Matemática Discreta.

Dichas propuestas fueron desarrolladas en los cursos seleccionados como muestra de estudio, realizándose un seguimiento sistemático de los procesos que allí se generaron.

Decidimos iniciar la investigación con un estudio de los diferentes trayectos de rendimiento académico de los estudiantes de dichas asignaturas, tomando las cohortes 2011, 2012 y 2013. Entendiendo que “las variables que condicionan el rendimiento académico de los estudiantes universitarios son muy numerosas y constituyen una intrincada red en la que resulta harto complejo ponderar la influencia específica de cada una...” (Gargallo López et al) [15]. Por ello, no profundizamos en los condicionantes, sino que observamos y analizamos las características de dichos trayectos para identificar los diferentes “camino críticos” desarrollados por los estudiantes, con especial atención en aquellos que se presentaron de manera recurrente.

Introduciéndonos en los contextos de análisis, realizamos una caracterización de los espacios curriculares y modalidades de dictado y aprobación.

En las primeras dos etapas de planificación y acción realizamos el estudio del rendimiento académico de los estudiantes en los años mencionados. Este análisis estadístico-interpretativo, nos ayudó a conocer las características sobresalientes de los diferentes trayectos de cursado que vienen desarrollando los estudiantes. Y, a su vez, dichas características nos permitieron identificar los recorridos más críticos durante la cursada, a fin de seleccionar posibles contenidos para la intervención directa a partir de una propuesta de aprendizaje y enseñanza basada en competencias.

Para el análisis del rendimiento académico se identificaron tres (3) categorías, a saber:

**Alumnos con Alto Rendimiento Académico:** aquellos estudiantes que promocionaron sin recuperar la asignatura con más de 7 (escala de 1-10) de calificación en los dos parciales, y los que promocionaron con una sola recuperación.

**Alumnos con Rendimiento Académico medio:** aquellos que regularizaron la asignatura (menos de 7 en la calificación) sin recuperar, y los que regularizaron al menos con un recuperatorio y aquellos que regularizaron recuperando los dos parciales.

**Alumnos con Rendimiento Académico Bajo:** aquellos que quedaron libres por desaprobación de los parciales o por inasistencia.

Para la asignatura de Álgebra y Geometría Analítica se pudo observar que el rendimiento académico de los estudiantes de las diferentes carreras ha variado en los diferentes años, con una marcada tendencia de descenso en los porcentajes de rendimiento académico alto y de aumento del rendimiento académico bajo. Uno de los elementos que, a criterio de los docentes de dichas asignaturas estaría impactando, es el cambio de modalidad de cursado reiterado que se dio en el período analizado.

Pudimos observar también que, de acuerdo con los diferentes parciales, los rendimientos por carreras se orientaban de manera más o menos favorables, sin un patrón marcado que distinga a una carrera por sobre otra. Sin embargo, notamos que la carrera de Ingeniería en Sistemas y de Ingeniería Electromecánica son las que menor desempeño alto y medio poseen. Esto nos lleva a reflexionar sobre la necesidad de adecuar los contenidos y las actividades hacia los campos profesionales de las carreras para “recuperar” desde conocimiento contextualizados los aprendizajes de los estudiantes.

Identificando los contenidos de Álgebra y Geometría Analítica, que fueron examinados en los diferentes parciales, podemos afirmar que el tema Transformaciones lineales es el que más dificultades presentó para su aprobación y por ende fue uno de los temas elegidos para la innovación curricular por competencias.

En cuanto al dictado de Matemática Discreta y los rendimientos académicos, podemos observar un marcado descenso de los mismos en los tres años estudiados.

En este caso, los resultados más bajos se encontraron en el tercer parcial del último año de dictado, vinculado a los siguientes temas: Teoría de Grafos y Estructuras algebraicas. Estos temas fueron seleccionados para trabajar con la propuesta de aprendizaje por competencias.

No queremos dejar de mencionar que pudimos observar un notable aumento de la inasistencia a los últimos exámenes parciales. Asimismo, los docentes dictantes de Matemática Discreta manifestaron que, al distanciarse el dictado semanal entre teoría y práctica por la anualización de la asignatura, se pierde continuidad y el interés de los alumnos.

Es claro que, en general, el estudio de las ciencias básicas plantea serias dificultades a los alumnos, sobre todo en los primeros años. Los docentes de dichas asignaturas entienden que parte de esa dificultad se da por la falta de conexión entre los contenidos desarrollados y los problemas específicos de la profesión. Adicionado a esta cuestión se plantea la falta de motivación por parte de los alumnos, debido al alto nivel de abstracción que plantean dichos contenidos, a los cuales no pueden relacionar con la elección de la carrera.

Por este motivo, y dado que las estrategias tradicionales de enseñanza no generan los resultados previstos, decidimos trabajar en el diseño de otra estrategia que coadyuve en el desarrollo de competencias para que el estudio de los temas de matemáticas resulte significativo para los estudiantes.

Por lo tanto, hemos planteado la secuencia didáctica que implementamos en las asignaturas escogidas en el marco de la investigación-acción que estamos llevando adelante.

Para el nuevo dictado de la unidad de Grafos, seleccionamos problemas que les permitieron darse cuenta de que no tenían los conocimientos teóricos necesarios para abordar los mismos y nosotros como docentes ejercimos el rol de orientadores en la búsqueda de esos nuevos saberes y destrezas para poder resolverlos. Diseñamos además una lista de control que nos permitió ir analizando, clase por clase, el desempeño de cada integrante de los grupos e intervenir cuando era necesario.

En cuanto a Álgebra y Geometría Analítica, en forma similar a Matemática Discreta se diseñó un problema relacionado con el tema Transformaciones Lineales. La

experiencia se llevó a cabo en el segundo cuatrimestre, cuando ya se produjo una gran deserción. Por este motivo al año siguiente se decidió comenzar a implementar esta estrategia en el primer cuatrimestre con el tema Sistemas de Ecuaciones Lineales. El cambio de tema se efectuó luego de analizar los mismos y considerar que Sistemas de Ecuaciones Lineales es un contenido necesario para un buen entendimiento de los temas posteriores, entre ellos Transformaciones Lineales.

Desde el punto de vista de los estudiantes, los resultados obtenidos en las entrevistas y encuestas realizadas indicarían una actitud positiva hacia esta estrategia de enseñanza. Ellos mismos señalan que ha despertado su curiosidad y esto ocasionó una oportunidad para respuestas a preguntas que los propios alumnos se realizaron. Con el correr de las clases cayeron en la cuenta de que debían trabajar más por su propia iniciativa, que bajo la dirección de un docente.

Los alumnos acordaron que deben definir su propia estructura de trabajo, que deben monitorear su propio avance, porque si bien el docente continúa con el rol del supervisor, ya no es el protagonista activo como en una clase magistral. En igual sentido que Méndez Orduña [16], nuestros estudiantes también consideraron al enfoque ABP como una nueva metodología que conjuga no sólo la necesidad de aprender sino la de aplicar estos conocimientos en su vida profesional.

Los docentes de las asignaturas, a su vez, realizaron observaciones importantes como por ejemplo la necesidad de mayor cantidad de tiempo de clase, el cambio de su rol pasivo estimulando a los alumnos a tomar decisiones, trabajar en equipo y desarrollar sus habilidades personales.

Éstas y otras observaciones nos alentaron a mejorar las prácticas con esta metodología y a continuar con nuestras investigaciones. En este sentido, proponemos que, desde el planteo de trabajo con esta nueva estrategia, dejar en claro que el alumno tiene un papel protagónico. Es el quien, guiado y motivado por el docente, se enfrenta al reto de aprender asumiendo un papel activo en la adquisición del conocimiento. Por otro lado, los resultados obtenidos superan el esfuerzo que deben realizar los docentes para planificar, desarrollar y evaluar los trabajos con esta estrategia.

## 5. ...Y de la otra mano: la formación docente

Luego de la experiencia realizada durante dos años y dados los resultados positivos obtenidos, decidimos dictar un curso para docentes de la Facultad sobre el tema. Se trabajó desde el formato de seminario-taller, tanto en los encuentros presenciales como en el desarrollo mediado por el entorno virtual a través de la Plataforma Moodle de la Facultad.

El curso tuvo como objetivo constituirse en un espacio de desarrollo de competencias específicas para la construcción de propuestas de enseñanza y aprendizaje mediante ABP. Con lo cual, el centro de interés del mismo es el docente que ejerce en los primeros años, en un contexto singular de formación de grado: el ciclo básico de las carreras de ingeniería.

Durante el seminario-taller se produjeron diálogos enriquecedores, fue un espacio de intercambio de ideas, propuestas y debate sobre la problemática de la enseñanza y el aprendizaje en los primeros años de nuestra institución.

Los docentes cursantes consideraron que era muy buena la estrategia porque les permitió tener otra visión sobre el desarrollo de sus asignaturas. Entendieron que esta metodología de enseñanza favorecería el aprendizaje y permitiría a los estudiantes prepararse para su inserción en la vida profesional. Posibilitaría, además, desarrollar competencias transversales tales como trabajo en equipo, responsabilidad individual y grupal, autoaprendizaje.

Vimos que una buena forma de acercar los docentes a esta metodología era que experimentaran ellos mismos el ABP como estudiantes, pero desde un problema pedagógico, desarrollando así una experiencia de aprendizaje y evaluación “auténticas”.

Los docentes que realizaron el curso, en general, quedaron muy satisfechos con el curso de capacitación implementado. Algunos manifestaron su intención de aplicar esta metodología en sus respectivas cátedras.

A raíz de la aceptación que tuvo el seminario entre los docentes, al año siguiente volvimos a dictarlo.

En esta ocasión los docentes nuevamente estuvieron conformes con la propuesta de trabajo.

Entre los participantes del Seminario Taller se encontraban profesores titulares y autoridades de la Facultad, quienes solicitaron trabajar en el 2017 en forma conjunta con los integrantes de este grupo de investigación. Solicitaron aplicar la metodología ABP en las materias integradoras de las carreras de IEM e IQ, las cuales constituyen el eje vertebrador de dichas carreras, ya que se estructuran sobre la base de la resolución de problemas ingenieriles típicos.

Como corolario de esta experiencia surgió un nuevo Proyecto de investigación que denominamos “El desarrollo de las competencias en materias integradoras de las carreras de Ingeniería Química y Electromecánica de la FRRe de la UTN” que se inscribe nuevamente en la línea de Investigación – acción porque pretende, no solamente continuar con el análisis de la problemática, sino además proponer acciones remediales en otras asignaturas, para ampliar el campo de indagación e intervención.

## 6. Conclusiones

La experiencia aquilatada en siete (7) años de investigación desde que se conformó el grupo nos ha mostrado la validez de las actividades realizadas. Este grupo pretendió desde sus inicios incidir positivamente en la mejora del rendimiento académico como también utilizar nuevas metodologías de enseñanza para nuestro contexto institucional, que hicieran menos arduo el aprendizaje de los alumnos en los primeros años, y disminuyera el desgranamiento académico preexistente. Para ello fue de fundamental importancia la elección del ABP como metodología activa que estaba en consonancia con lo planteado en el Diseño Curricular de nuestra Universidad.

Los resultados positivos obtenidos en términos de rendimiento académico y de valoración de los propios alumnos en relación con sus percepciones y vivencias, nos animan a continuar y profundizar la experiencia, extendiéndonos a otras asignaturas y a otros contenidos.

Por otro lado, trabajar con la metodología de investigación – acción completando el círculo virtuoso que ésta incluye, ha

demostrado ser la metodología más apropiada para lograr los cambios que nos proponemos.

Estos cambios se están dando en forma paulatina y la posibilidad de compartir nuestra experiencia con colegas de otras asignaturas, tanto del área de materias básicas como de las específicas de las carreras, fue una confirmación de que estábamos en el camino correcto. El hecho que varios docentes participantes en los cursos de capacitación se hayan sentido motivados para realizar cambios en el dictado de sus clases como también que algunos hayan solicitado expresamente participar en nuestro próximo proyecto nos hace afirmar en el camino elegido.

Capítulo aparte merecen los aprendizajes producidos al interior del Grupo de investigación, que se sintió alentado a continuar dado los resultados obtenidos, tanto con los alumnos como con los colegas.

Dicho lo anterior, entendemos que los cambios curriculares profundos sólo pueden llevarse a cabo a partir de experiencias similares a la antes relatada, poniendo a prueba las metodologías “recomendadas” en el campo propio, sin “importarlas”, sino adecuándolas a los tiempos y matices institucionales, y de esta manera, ir conquistando y contagiando a otros en la tarea de innovar para la mejora del aprendizaje.

## Referencias

- [1] Carr, W. y Kemmis, S., Teoría crítica de la enseñanza. La investigación-acción en la formación del profesorado. Barcelona: Martínez Roca, 1988.
  - [2] Elliott, J., La investigación-acción en educación. Madrid: Ediciones Morata, 1990.
  - [3] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Definition and selection of competences. DESECO. Theoretical and conceptual foundation, strategy paper. [online]. 2002. Available at: <http://www.oecd.org>
  - [4] Gonzalez, J. and Wagenaar, R., Tuning educational structures in Europe. Informe final Fase 2, La contribución de las universidades al proceso de Bolonia, (ed) Universidad de Deusto – Universidad de Groningen, 2006.
  - [5] CONFEDI. Competencias para el acceso y la continuidad de los estudios superiores. XLIV Reunión Confedi- Santiago del Estero, Anexo1. [en línea]. 2008. Disponible en: <http://www.confedi.org.ar/documentos-publicos/>
  - [6] Mejía -Aguilar, G. y Franco-Durán, D.M., Influencia de los dominios conceptuales en las competencias académicas: Área de matemáticas para ingenierías. Revista Educación en Ingeniería, 9(1), pp 74-88, 2014. DOI: 10.26507/rei.v9n18.419
  - [7] Mastache, A., Formar personas competentes. Desarrollo de competencias tecnológicas y psicosociales. Novedades Educativas. Argentina: Buenos Aires, 2007.
  - [8] Quintana-Puschel A. et al, Competencias transversales para el aprendizaje en estudiantes universitarios. Revista Iberoamericana de Educación, [en línea] 44(5), Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI), 2007. Disponible en: <http://rieoei.org/1949.htm>
  - [9] Cano -García, M.E., La evaluación por competencias en la educación superior. [en línea]. 2008. Disponible en: <http://www.urg.es/local/recfpro/rev123COL1.pdf>
  - [10] Rupérez-Padrón J.A. y García-Denis, M., Competencias, matemáticas y resolución de problemas. Revista Números, [en línea]. 2008. Disponible en: [http://www.sinewton.org/numeros/numeros/69/ideas\\_01.php](http://www.sinewton.org/numeros/numeros/69/ideas_01.php)
  - [11] Matus-Felix, R.X. y Guzmán-Pérez, J.M., Uso del aprendizaje basado en problemas en un curso de matemáticas, Centro de enseñanza técnica y superior- Baja California. [en línea]. 2009. Disponible en: <http://www.fimpes.org.mx/phocadownload/Premios/1Investigacion2009.pdf>
  - [12] Barrows, H., A taxonomy of problem-based learning methods. Medical Education. Springer, New York, 1986, pp. 481-486. DOI: 10.1111/j.1365-2923.1986.tb01386.x
  - [13] Escribano, A. y Del Valle, A., El aprendizaje basado en problemas. Una propuesta metodológica en Educación Superior, NARCEA. Madrid, 2008.
  - [14] Dalfaro N.A., et al, Los ingresantes de ingeniería de la FRRe y el estudio de la construcción de las competencias matemáticas, Revista Científica La U.T.N. en el N.E.A. Investigación y Desarrollo en la FRRe. Edutecne Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional. Vol.1, 2011. ISBN 978-987-27897-0-1.
  - [15] Gargallo-López, B. et al, Actitudes ante el aprendizaje y rendimiento académico en los estudiantes universitarios, Revista Iberoamericana de Educación, 42(1), pp. 1-11, 2007.
  - [16] Méndez-Orduña, A., Diseño de una guía didáctica para la enseñanza de la química a ingenieros civiles en formación desde el enfoque de ABP (ABP: Aprendizaje Basado en Problemas). Revista Educación en Ingeniería, [en línea]. 10(19), pp 39-48, 2015. Disponible en: <https://www.educacioningenieria.org/index.php/edi/issue/view/24>. DOI: 10.26507/rei.v10n19.481
- N.A. Dalfaro**, recibió el título de Profesora en Filosofía y Ciencias de la Educación en 1973, Universidad Nacional del Nordeste, Resistencia. Chaco, Argentina, de Esp. en Gestión Universitaria, Instituto de Gestión y Liderazgo Universitario (IGLU). Organización Universitaria Interamericana (OUI). Buenos Aires. Canadá. Año 2000, de Esp. en Políticas y Gestión de la Educación Superior. Programa Unigestiones. Universidad de Buenos Aires. Argentina. Año 2004, y de MSc. en Políticas y Gestión de la Educación Superior. Programa Unigestiones. Universidad de Buenos Aires. Argentina. Año 2009. Es directora del Grupo de Investigación Educativa sobre Ingeniería (GIESIN). Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.  
ORCID: 0000-0001-9634-6871
- P.B. Demuth-Mercado**, recibió el título de Profesora en el año 2004 y Lic. en Ciencias de la Educación, en 2007, ambos de la Facultad de Humanidades-Universidad Nacional del Nordeste, Argentina, de Esp. en Ciencias Sociales con mención en Curriculum y prácticas escolares. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO); Buenos Aires, Argentina, en 2006, Dra. por la Universidad de Sevilla, España en 2013. Es integrante del Grupo de Investigación Educativa sobre Ingeniería (GIESIN). Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.  
ORCID: 0000-0003-2925-3768
- N.F. Aguilar** recibió el título de Profesora en Matemática y Cosmografía en el año 1985, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina, de Esp. en Docencia Universitaria en el año 2005, Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Desde el año 2010 es integrante del Grupo de Investigación Educativa sobre Ingeniería (GIESIN). Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina y desde 1987 es profesora titular de la asignatura Matemática Discreta, Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional, Resistencia, Chaco, Argentina.  
ORCID: 0000-0001-8776-2187
- C.G. Del Valle** recibió el título de Profesora en Matemática y Cosmografía en el año 1985, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina, de Esp. en Docencia Universitaria en el año 2005, Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Desde el año 2010 es integrante del Grupo de Investigación Educativa sobre Ingeniería (GIESIN). Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina, desde el año 1987 es profesora titular de la asignatura Álgebra y Geometría Analítica, Ingeniería Electromecánica y desde 1990, profesora adjunta de Matemática Discreta, Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional, Resistencia, Chaco, Argentina.  
ORCID: 0000-0002-9779-9239

# Metodología de la indagación aplicada a la enseñanza del diseño de intercambiadores de calor tipo Coraza-Tubo usando un OVA

Sergio Alejandro Carrión-Avellaneda <sup>a</sup>, Laura Angélica Ardila-Castro <sup>a</sup> & Camilo Andrés Ramírez-Mendoza <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Programa de Ingeniería Mecánica, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia. [sacarriona@unal.edu.co](mailto:sacarriona@unal.edu.co), [laura.ardila.c@gmail.com](mailto:laura.ardila.c@gmail.com)

<sup>b</sup> Programa de Ingeniería Industrial, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia. [cami.ramirez9208@gmail.com](mailto:cami.ramirez9208@gmail.com)

**Resumen-** Los intercambiadores de calor son comúnmente usados en diversos procesos térmicos en la industria colombiana, el estudiante de ingeniería mecánica, aprende los conceptos básicos de estos dispositivos, en la asignatura de transferencia de calor. Por tal razón, los autores del presente estudio propusieron un nuevo método de enseñanza-aprendizaje, basado en tres conceptos, la metodología de la indagación, el diseño térmico de intercambiadores de calor tipo coraza-tubos y la aplicación de un objeto virtual de aprendizaje. El objetivo de este nuevo método, fue que el estudiante adquiriera un rol activo en su formación y el profesor sea una guía en dicho proceso. En la primera parte del artículo, se definió la nueva metodología propuesta; luego se explicó los tres productos obtenidos, a saber, dos guías de enseñanza, una para el estudiante y otra para el profesor, y un programa de diseño de intercambiadores. En la sección de discusión, se explicó la importancia de la nueva metodología y de la herramienta computacional.

**Palabras Clave—** Metodología de la indagación; diseño térmico; objeto virtual de aprendizaje; intercambiador de calor.

Recibido para revisar Agosto 9 de 2017, aceptado Octubre 17 de 2017, versión final Octubre 27 de 2017

## Indagation methodology applied to the teaching of design of heat exchangers type shell and tubes using a VLO

**Abstract—** The heat exchangers are commonly used in many thermal processes in the Colombian industry, the mechanical engineer must learn the basic concepts about these devices in the subject heat transfer. Thus, the authors of the present document suggested a new teaching-learning method based on three key concepts, indagation methodology, shell-tube heat exchangers design and the application of a virtual learning object. The aim of this new methodology was that the student acquires an active role in his formation and the teacher could be a guide on this process. In the first part of the article, it was defined the proposed new methodology, then was explain the products obtained, namely, two teaching guides, one for the student, the other for the teacher, and a program of heat exchangers design. In the discussion section, it was explained the importance of the new methodology and the computational tool.

**Keywords—** Indagation methodology; thermal design; virtual learning object; heat exchanger.

## 1. Introducción

Dentro de la formación profesional de un ingeniero mecánico, se encuentra el aprender a diseñar intercambiadores de calor, y aunque hay mucha información al respecto, no existe una metodología o un proceso establecido para dicho aprendizaje, es por esto, que los autores en su preocupación por

facilitar la enseñanza de estos dispositivos térmicos, elaboran un proceso de enseñanza-aprendizaje, que guíe a los estudiantes y docentes en esta competencia de aprendizaje.

Este nuevo proceso, se basa en tres conceptos fundamentales, a saber, metodología de la indagación, diseño térmico y Objeto Virtual de Aprendizaje (OVA), en la que los tres conceptos se integran en una guía de tal manera que el estudiante, con el apoyo del docente, lleve a cabo un proceso de enseñanza-aprendizaje adecuado en el diseño de intercambiadores de calor.

La metodología de indagación científica, es un método de aprendizaje que conduce a la comprensión y explicación, a través de la interacción directa con el mundo y la recolección directa de datos que ayudan a evaluar las posibles explicaciones de un fenómeno [1]. Esta comprensión se fundamenta en preguntas que pueden tener cualquier origen, el docente, la lectura o de algún problema del mundo real. Estas preguntas son asumidas como propias del estudiante, debido a su interés en la solución del problema inicial que se le plantea [2], en este caso el diseño de un intercambiador. Con éste método el estudiante desarrolla habilidades tales como: preguntar, recoger datos, revisar evidencia con base a lo que se conoce, extraer conclusiones y discutir resultados [3], las cuales le permiten abordar un problema de cualquier índole y darle una solución pertinente.

Aunque la indagación se utiliza actualmente con mucha frecuencia, no es un concepto nuevo, ya que parte de la curiosidad del individuo, lo importante de ella, en el caso de la educación, es que parte del rol activo del estudiante en el desarrollo de sus ideas [4]; ya que es el alumno quien las madura progresivamente mientras aprende a investigar, para así construir conocimiento y comprensión [5]. A partir de esto, se llega a que el objetivo principal de la indagación como metodología pedagógica es que los alumnos aprenden a aprender, para esto el docente tiene en cuenta dos factores importantes, el aprendizaje conceptual y el entendimiento de cómo procede el estudiante para aprender, entonces, gracias a los conceptos el alumno puede dar solución al problema, mientras que, al formular preguntas e inquietudes gracias a la metodología de la indagación, el estudiante desarrolla un proceso de aprendizaje propio y adecuado para él [2].

**Como citar este artículo:** Carrión-Avellaneda, S.A., Ardila-Castro, L.A. and Ramírez-Mendoza, C.A., Metodología de la indagación aplicada a la enseñanza del diseño de intercambiadores de calor tipo Coraza-Tubo usando un OVA. Educación en Ingeniería, 13(25), pp. 64-71, Febrero, 2018.

Esta metodología de indagación, específicamente en esta investigación, se orienta a que el estudiante formule preguntas respecto al diseño térmico de un intercambiador de calor, por tal razón, debe ser entendido con claridad. Un intercambiador de calor se define como una máquina térmica que aumenta la temperatura de un fluido a baja temperatura con uno a mayor temperatura, o viceversa, por medio de un intercambio de energía [6]. Debido a que esta transferencia de calor se puede dar de diferentes maneras, existen diferentes tipos de intercambiadores, todo esto ligado a los requerimientos energéticos y las características de los fluidos. De acuerdo con lo anterior se elige un tipo determinado, dentro de los más comunes están: tubo doble, tubos y coraza, placas paralelas, regenerativos y compactos [7].

El diseño térmico al cual se dirige la metodología, es el de intercambiadores de calor tipo coraza-tubos, en donde los fluidos son separados por la pared de una tubería, la transferencia se da del fluido a la pared interna del tubo por convección, luego a lo largo del tubo por conducción y finalmente de la pared externa del tubo al otro fluido por convección [8]. Para su diseño, se tiene en cuenta los siguientes tópicos, el cálculo del coeficiente de transferencia, que permite determinar la geometría del dispositivo térmico, a partir del calor que debe ser transferido de un fluido a otro; la temperatura media logarítmica, que es el diferencial de temperatura que permitirá el flujo de calor, de un fluido a otro; y el calor total que determina la potencia que generará el intercambiador de calor [6].

Uno de los factores más relevantes dentro del diseño, es el área de transferencia, que permite conocer detalles de la geometría del intercambiador, tales como los diámetros de tubería que deben corresponder a la escala comercial [9] y la configuración geométrica de los mismos, es decir, la ubicación dentro de la coraza [10]. Finalmente, se debe calcular la efectividad que es la capacidad que tiene el intercambiador de calor para transferir energía de un fluido a otro, que está ligada a la relación adimensional conocida como el Número de Unidades de Transferencia (NTU), que determina la capacidad del intercambiador [6]. El diseño térmico es un desarrollo sistemático en donde todas las variables se relacionan entre sí, lo que hace indispensable la comprensión de los conceptos y los objetivos del diseño a realizar.

Para apoyar al proceso de enseñanza-aprendizaje del diseño de intercambiadores de calor tipo coraza-tubos, se hace uso de un Objeto Virtual de Aprendizaje (OVA), que de acuerdo con el Ministerio de Educación Nacional de Colombia es un material estructurado de forma significativa, digital dirigido al aprendizaje que es usado para el desarrollo de contenidos. Un OVA es catalogado dentro de los siguientes tipos: simuladores, cursos y/o tutoriales multimedia, animaciones, videos, documentos interactivos y colecciones de imágenes estáticas [11]. A pesar de ser una herramienta útil, cuando se implementa un OVA en la metodología de la clase, no se trata únicamente de usar un programa y seguir haciendo lo mismo en el aula, el uso de éstos avances es un incentivo para hacer uso de los aciertos de la pedagogía contemporánea y proponer nuevas técnicas de enseñanza [12]. Con esta herramienta el estudiante desarrolla habilidades tales como el auto aprendizaje y el

constructivismo que le permiten llegar de manera autónoma al conocimiento que quiere adquirir [13]. Además, el trabajo colaborativo es uno de los beneficios que ofrecen éstas herramientas, ya que al estar disponible el recurso para todos los alumnos les permite compartir ideas entre ellos no sólo respecto al manejo del programa, sino de los conceptos en sí de clase, permitiéndole al estudiante que aprenda a su propio ritmo [14].

Una de las ventajas más relevantes en el uso de un OVA es el aprendizaje autónomo, que de acuerdo con la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), se define como el proceso de apropiación crítico de la experiencia vital, intelectual y cultural, a partir del reconocimiento de la realidad personal y social, mediante la profundización teórica de conceptos, aplicándolos a la vida cotidiana permitiéndole un desarrollo de procesos académicos y la promoción del desarrollo humano [15], lo que le permite al estudiante tener una formación basada en sus propias inquietudes y experiencias. Además de un aprendizaje autónomo, un OVA desarrolla el aprendizaje inclusivo, el cual permite transformar los sistemas educativos con el fin de mejorar la enseñanza en todos los niveles y ambientes para responder a los estudiantes [16].

Con las ventajas que presenta el uso de un OVA en la enseñanza, y al aplicar la metodología de la indagación para el proceso de enseñanza-aprendizaje del diseño de intercambiadores de calor tipo coraza-tubos, se une en una sola metodología tres conceptos importantes. Entonces, partiendo de la necesidad del estudiante por aprender a diseñar estas máquinas térmicas, se elabora una nueva metodología para la enseñanza-aprendizaje del diseño de intercambiadores de calor tipo coraza-tubos, basado en la metodología de la indagación y usando como herramienta un OVA, cuyo desarrollo se muestra en esta investigación.

## 2. Métodos

En esta sección del documento, se dio explicación a la forma en la que se abordó el problema y se llegó al procedimiento de enseñanza-aprendizaje apropiado, que permitió integrar la metodología de indagación, el diseño térmico y el uso de un OVA. Primero, se definieron claramente los roles de los individuos involucrados en el proceso, y las herramientas en las que se apoyó su implementación; segundo, se estableció la metodología que dio solución al problema; por último, se crearon los medios por los cuales la metodología se llevó a cabo. Los individuos involucrados en el proceso fueron el estudiante y el docente, entendiendo que, aunque exista un grupo de estudiantes, el desarrollo cognitivo es individual debido a que cada uno es responsable de su aprendizaje.

La metodología planteó que el estudiante debía tener un rol activo dentro de su propio aprendizaje, dado que es quien formula las preguntas, las cuales amplían sus nociones sobre el tema y motivan su desempeño dentro del proceso. El nuevo proceso, propuesto por los autores, no planteó preguntas dentro de su desarrollo, pero sí situaciones que llevaron a resolverlas, haciendo que el alumno fuera su propio guía dentro del proceso, siempre apoyado del profesor. Simultáneamente, se definió el

rol del docente como activo, puesto que, brinda apoyo constante al proceso de enseñanza-aprendizaje del alumno y al desarrollo de las situaciones a las que van a dar solución. Para esto, se incentivó al docente a estar documentado sobre el diseño de intercambiadores de coraza-tubos para garantizar la correcta respuesta a cualquier pregunta que le sea formulada. Así mismo, la metodología permitió que el docente planteara al grupo de estudiantes, las preguntas que considerase pertinentes, dándole la libertad de encaminar su clase. Al responder las preguntas individuales, el profesor puede apoyar más fácilmente el desarrollo de cada uno de los estudiantes, brindándole la posibilidad de conocer el proceso de enseñanza-aprendizaje y tomar decisiones al respecto. La nueva metodología fue implementada en una guía o protocolo, una para el estudiante y otra para el profesor, estas dos guías, se basaron en los ítems principales del programa, desarrollado en Excel, llamado Diseño de Intercambiadores de calor tipo Coraza-Tubos, de acrónimo DICT.

La nueva metodología propuesta, se basó en la solución de tres problemas desarrollados en dos modalidades. La primera modalidad, se realizó con base en la solución de dos de los tres problemas, uno de cálculo de calor total y otro de cálculo de área de transferencia, en donde se abordaron primero de manera analítica, luego se resolvieron los mismos problemas en el programa, y por último se compararon los resultados. Para la segunda modalidad, se resolvió el tercer problema que correspondió al diseño específico de intercambiadores de calor, que se encaminó al cálculo de coeficiente de transferencia de los dos fluidos junto con otros valores importantes dentro del diseño. Aunque el problema fue resuelto con el programa, para esta segunda modalidad también fue necesario hacer algunos cálculos previos de variables, ya que fueron solicitados por el programa, pero no fueron proporcionados directamente por el problema.

Es importante aclarar que ambas modalidades fueron elaboradas paso a paso, con el fin de explicar mejor al estudiante, sobre la manera en la que se resolvieron los problemas, para que así él pueda repetir los mismos pasos al desarrollar problemas de su propio interés. Los cuatro primeros pasos en ambas modalidades fueron los mismos, a parte de estos pasos en cada modalidad desarrolla sus propios procedimientos de acuerdo con la forma en la que se resolvieron los tres problemas.

En la Fig. 1, se muestra un mapa conceptual que ilustra el paso a paso que se siguieron en cada modalidad. En éste se evidencian los cuatros pasos en común de ambas modalidades, luego se ramifican mostrando los pasos que se siguieron en cada modalidad. Como se ve, ambas concluyen en un paso final común.

Como ya se estableció en el presente documento, la indagación es la manera como los estudiantes aprenden al formular y dar respuesta a las interrogantes que surjan en el aula de manera individual o grupal, de acuerdo con sus intereses, habilidades y ritmos de trabajo. En concordancia con la nueva metodología propuesta, cada paso da pie a una serie de preguntas que son las que inician el proceso indagatorio del estudiante, entonces en cada paso el alumno formula ciertas preguntas que al responderlas puede continuar con el siguiente paso de la solución del problema y así avanzar en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Teniendo claro los pasos de cada modalidad, se muestra cómo la metodología propuesta integró en cada uno de éstos, las tres bases de la investigación, para recordar, la metodología de indagación, el diseño térmico de intercambiadores de calor tipo coraza-tubos y un OVA. De tal forma que garantiza el proceso de enseñanza-aprendizaje que debe tener el estudiante al desarrollar los problemas de diseño de intercambiadores de calor. A continuación, se muestra una serie de tablas que desarrollan cada uno de los pasos de las dos modalidades, de tal forma que el lector tenga claro el propósito de cada uno éstos dentro de la nueva metodología propuesta por los autores. En la Tabla 1, se observa la forma en la que se realizaron los primeros pasos, comunes, de la metodología; en la Tabla 2, los pasos que desarrolló la primera modalidad, los cuales fueron expuestos en la Fig.1, y en la Tabla 3, se muestran los pasos restantes de la segunda modalidad, mencionados anteriormente.

En las tablas ya descritas, en las columnas de indagación se sugieren el tipo de preguntas que el estudiante puede proponer en cada paso, y un ejemplo de éstas. Téngase en cuenta que, como el proceso de indagación depende del individuo o del grupo, el tipo de preguntas planteado en el presente documento son una sugerencia por parte de los autores, sin embargo, éstas pueden cambiar a la hora de aplicar la metodología. También debe tenerse en cuenta que la metodología requiere de la presencia del docente las primeras veces que se aplique o se use en el aula, para así apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje del estudiante.

Una vez aclarada la metodología que fue diseñada, se hace necesario explicar de manera general la forma en la que se presentaron las dos guías, para el estudiante y docente, en las cuales se desarrollaron los tres problemas mencionados anteriormente. La guía del docente cuenta con la explicación de lo que se espera que haga el alumno en cada ítem, junto con algunas sugerencias que pueden ayudar en dicho desarrollo. Para la guía del estudiante, se presentó cada uno de los problemas, pero éstos acompañados únicamente de los ítems de desarrollo sin la explicación correspondiente, la cual se encuentra en la guía del docente.



Figura 1. Desarrollo, paso a paso, de la metodología propuesta por los autores. Fuente: Los autores

Tabla 1.

Metodología propuesta para el proceso de enseñanza-aprendizaje del diseño de intercambiadores de calor tipo coraza-tubos.

Paso	Descripción del proceso dentro del diseño térmico	Indagación		Uso del programa DICT
		Tipo de preguntas	Ejemplo	
Lectura del problema	En el problema se conocen las condiciones iniciales del diseño, los requerimientos del mismo y los valores finales que se quieren hallar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiales</li> <li>• Transferencia de calor</li> <li>• Configuración del intercambiador</li> <li>• Conceptual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es el fluido que al que se le quiere subir la temperatura?</li> <li>• ¿De qué depende la velocidad de la transferencia de calor?</li> </ul>	En este punto no es necesario su uso.
Diagrama	Al realizar el diagrama del intercambiador se tiene en cuenta la estructura general del mismo. Se reconoce el flujo de ambos fluidos, características de entrada y salida.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructurales</li> <li>• Configuración</li> <li>• Diseño Intercambiadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo se distribuyen los pasos de los tubos en la coraza?</li> <li>• ¿Qué fluido va en la coraza y cuál en los tubos? ¿Cómo se determina?</li> </ul>	No es necesario su uso.
Suposiciones sobre el problema	Se hacen suposiciones iniciales sobre el sistema termodinámico antes de desarrollar el problema, este ayuda a delimitarlo y así poderlo resolver de una forma más eficiente y rápida.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conceptual</li> <li>• Termodinámico</li> <li>• Estructural</li> <li>• Transferencia de calor*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué tipo de suposiciones se realizan?</li> <li>• ¿Qué implica que el sistema esté en estado estable o transitorio? *</li> </ul>	No es necesario
Reconocimiento de variables	Se solicita al estudiante que haga un listado de las variables y constantes, clasificándolas en conocidas y desconocidas. Las conocidas con las proporcionadas por el problema y las desconocidas las que deben ser halladas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geométrico</li> <li>• En cuanto a las unidades.</li> <li>• Respecto a las constantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué variables geométricas son las que se debe tener en cuenta en el desarrollo?</li> <li>• ¿Se debe escribir todas las variables con las mismas unidades en el listado?</li> <li>• ¿Las constantes van en la lista de variables conocidas o son tenidas en cuenta a lo largo del desarrollo?</li> </ul>	El estudiante puede verificar si cuenta con todas las variables y constantes mencionadas para resolver el problema.

Fuente: Los autores

Nota: \* Dependiendo de las suposiciones hechas para cada problema, habrá cierto tipo de preguntas.

Tabla 2.

Metodología propuesta para el proceso de enseñanza-aprendizaje del diseño de intercambiadores de calor tipo coraza-tubos, primera modalidad.

Paso	Descripción del proceso dentro del diseño térmico	Indagación		Uso del programa DICT
		Tipo de preguntas	Ejemplos	
Listado de ecuaciones	El estudiante realiza un listado de ecuaciones, las cuales relacionen las constantes y variables entre sí, de tal manera que le permitan hallar el valor solicitado por el problema.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de intercambiadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuáles son los componentes necesarios para el diseño del intercambiador propuesto?</li> <li>• ¿Por qué algunas ocasiones se tienen en cuenta los factores de corrección y en otros no?</li> </ul>	No es necesario en este punto.
Desarrollo del problema	De acuerdo con todos los elementos desarrollados en los pasos anteriores, el estudiante procederá a desarrollar el problema y hallar la solución del mismo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede formularse de todos los tipos ya mencionados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿De qué manera se deben iniciar los cálculos?</li> <li>• ¿Cómo aplican las suposiciones dentro de los cálculos?</li> <li>• ¿Por qué al comparar mis resultados hallados con el método analítico, difieren con los del programa? *</li> </ul>	En este punto es donde más se utiliza, ya que a medida que va resolviendo cada ecuación, va comparando sus resultados con los arrojados por el programa. Además, le brinda una metodología u orden en el desarrollo de las ecuaciones.
Conclusiones	Es el punto más importante del proceso. Determina que representa dentro del diseño la comparación de datos. Evalúa su precisión en el desarrollo analítico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede realizar cualquier tipo, este es un ejercicio que exige a la persona sintetizar lo antes realizado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Por qué los valores encontrados analíticamente no se acercan a los del programa?</li> <li>• ¿Son aplicables éstos valores en un plano práctico?</li> </ul>	

Fuente: Los autores

Nota: \*Estas preguntas no son tan específicas como las que puede realizar el estudiante, pero van a depender del problema y sus componentes.

Tabla 3.

Metodología propuesta para el proceso de enseñanza-aprendizaje del diseño de intercambiadores de calor tipo coraza-tubos, segunda modalidad.

Paso	Descripción del proceso dentro del diseño térmico	Indagación		Uso del programa DICT
		Tipo de preguntas	Ejemplo	
Ecuaciones auxiliares para el programa DICT	En este paso el estudiante después de haber revisado cuáles son los valores de entrada requeridos, realiza los cálculos necesarios para completar los valores que necesita y así finalizar el proceso.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de intercambiadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es la ecuación más adecuada para hallar el valor restante?</li> <li>• ¿Cuándo se sabe el momento hacer un cálculo adicional y cuándo no?</li> </ul>	El programa se consulta para saber cuál es el valor que debe ser calculado.



Desarrollo del problema	Junto con todos los componentes ya desarrollados, el programa va a arrojar los resultados requeridos por el problema.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de intercambiadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Son coherentes los valores obtenidos?</li> <li>• ¿Todos los valores que arroja el programa son útiles para resolver el problema?</li> </ul>	El programa es el que arroja los valores que más adelante el estudiante va a interpretar.
Paso	Descripción paso dentro del diseño térmico	Indagación		Uso del programa DICT
		Tipo de preguntas	Ejemplo	
Conclusiones	Es el punto más importante del proceso. Determina qué debe hacer con los valores que obtuvo y qué puede decir al respecto. Va más allá de los resultados que obtuvo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede realizar cualquier tipo, este es un ejercicio que exige a la persona sintetizar lo antes realizado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Puede construirse este diseño?</li> <li>• ¿Qué costo tendría su fabricación?</li> </ul>	No aplica

Fuente: Los autores

### 3. Resultados

Del presente estudio, se obtuvieron tres diferentes productos, a saber, una guía para el docente, una guía para el estudiante y un programa de Diseño de Intercambiadores de Calor tipo Coraza-Tubos, llamado DICT. A continuación, se describen cada uno de estos productos.

#### 3.1. Guía para el docente y el estudiante

Las guías son documentos en los que se resolvieron tres problemas de diseño de intercambiadores de calor tipo coraza-tubos, cada uno abordó diferentes características, esto para que el estudiante aprendiera a resolver diversos tipos de problemas. Además, se presentaron dos formas de desarrollo de la guía, en ambas se hizo uso del programa de diseño, sin embargo, se diferencia en su forma de uso.

Tanto la guía del docente como la del estudiante resolvieron los mismos problemas, se diferencian en que la primera explico paso a paso el desarrollo del problema mostrado en forma de recuadros, de tal forma que el profesor sepa que debe esperar o cómo debe guiar al estudiante durante el proceso de solución del problema. Por ejemplo, la primera situación que se planteó, en el primer paso se solicitó al estudiante leer el problema e identificar de qué se trata y sus características principales. En la Fig. 2, se observa un mapa conceptual, esto para el mejor entendimiento del lector, en donde se describe la forma en la que se presentó el primer paso de la primera solución del problema, es decir la lectura del mismo.

Como se ilustra en el mapa conceptual, en el primer paso de la guía del estudiante, se le solicitó que leyera el problema con detenimiento, para luego mostrarle lo que debió concluir rápidamente sobre la lectura que acaba de hacer. En cuanto a la guía del docente, no sólo se le mostró lo que se espera que el estudiante responda, sino que se le hicieron sugerencias sobre cómo apoyarlo en este paso, en caso que el alumno encuentre dificultades.

Como se ha venido mencionando, las guías se elaboraron con base en una serie de pasos que permitieron la solución de los ejemplos planteados. Dichos procedimientos fueron explicados detalladamente en las tablas de métodos en donde se hace la descripción del paso dentro del diseño térmico. Entonces, en la guía del estudiante como se ejemplificó en el

mapa conceptual, se mostró cómo se espera que él desarrolle cada paso, en el caso de la guía del docente no sólo cuenta con lo explicado en la guía del estudiante, sino que le muestra al profesor cómo puede apoyar el proceso del alumno en cada uno de los pasos.

En la primera opción de desarrollo se propuso que el estudiante resolviera el problema de manera analítica y al final comparara sus resultados con los arrojados por el programa para así concluir con base en ella. En la segunda opción de desarrollo, el estudiante resuelve el problema directamente con el programa para así poder concluir respecto al diseño de la máquina térmica y establecer su funcionalidad. A partir de las dos guías elaboradas por los autores, el estudiante puede enfrentarse a cualquier problema de diseño de intercambiadores, bien sea de manera autónoma o con el acompañamiento de un profesor y poder resolverlo de manera sistemática y precisa. A medida que repita el proceso con más problemas, adquiere práctica y experiencia en su solución.

#### 3.2. Programa para el Diseño de Intercambiadores de Calor tipo Coraza-Tubos DICT

El programa desarrollado se dividió en tres secciones, una de calor total, otra de cálculo de área de transferencia y finalmente una sobre las características del diseño, que se divide a su vez en diseño de tubos y de coraza. A lo largo de todo el programa el usuario fue guiado de manera ordenada de tal forma que las variables fueron solicitadas en una secuencia determinada de diseño, que fueron consecuentes con el desarrollo de los problemas en las guías. A continuación, se muestra de manera resumida la forma en la que el programa solicita las variables y los datos obtenidos en cada una de las secciones.

En la Fig. 3, se puede observar el cálculo de calor total del intercambiador de calor, las variables requeridas fueron las temperaturas de los fluidos, el tipo de fluido que se van a usar para el intercambio de calor, para así determinar el coeficiente total de transferencia, y el área superficial de transferencia entre otros. Con estos valores, el programa calcula la temperatura media logarítmica, el factor de corrección de la máquina y el calor total transferido.

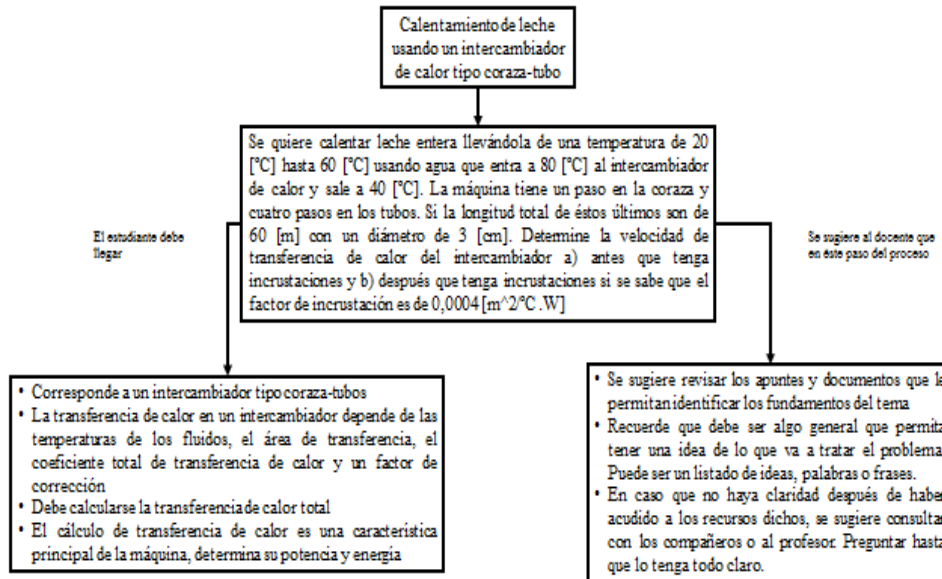


Figura 2. Mapa conceptual sobre el desarrollo de la guía, primera forma de resolver, paso uno.

Fuente: Los autores

Temperatura de salida de la coraza  °C

Temperatura de entrada de los tubos  °C

Temperatura de salida de los tubos  °C

Área superficial de transferencia  m<sup>2</sup>

De la lista elegir el tipo de fluido del intercambiador:

Agua hacia agua

Deje esta Casilla en blanco

U promedio del fluido = 1275 W/m<sup>2</sup> °C

El número de pasos de la coraza

N

Figura 3. Fragmento del programa DICT, para el cálculo de calor total de transferencia.

Fuente: Los autores

En la Fig. 4, se muestra un fragmento del cálculo del área superficial de transferencia de calor en donde se solicitó al usuario que eligiera el tipo de fluidos que iba a utilizar en la máquina, los flujos másicos y las temperaturas de los mismos, además de los calores específicos. Ya que para este cálculo es necesario el calor total de transferencia el programa solicita dicho valor, en caso que el usuario no lo tenga este le da la opción de calcularlo como se observa en la figura. Dentro de los valores que se obtiene, al igual que el cálculo del calor total de transferencia, está la temperatura media logarítmica y el factor de corrección de la máquina, además del área superficial de transferencia.

En las Figs. 4 y 5, se muestran los dos cálculos relevantes de las características del diseño, el diseño de tubos y el diseño de coraza. Para el diseño de tuberías el programa requiere como variables el área superficial de transferencia, el diámetro de la tubería y la longitud, entre otros. Derivado de este valor se obtiene el número de tubos, número de Reynolds y velocidad de flujo además de otros valores relevantes. Para el diseño de coraza, el programa requiere de los diámetros exterior e interior

de la coraza, el flujo másico del fluido que pasa por la coraza, con lo cual calcula el área trasversal de esta parte del intercambiador de calor. También solicita la viscosidad del fluido, con lo que calcula el número de Reynolds y el factor de corrección del intercambiador junto con otros valores relevantes en el diseño final.

Área de transferencia

De la lista elegir el tipo de fluido del intercambiador:

¿Que desea hacer?  Calcular Q  Insertar valor de Q

Flujo másico del fluido baja temperatura  kg/s

Flujo másico del fluido alta temperatura  kg/s

Calor específico a presión constante del fluido de baja temperatura  kJ/kg\*K

Calor específico a presión constante del fluido de alta temperatura  kJ/kg\*K

Temperatura de entrada de la coraza  °C

Temperatura de salida de la coraza  °C

Temperatura de entrada de los tubos  °C

Temperatura de salida de los tubos  °C

De la lista elegir el tipo de fluido del intercambiador:

Agua hacia agua

Figura 4. Fragmento del programa DICT, para el cálculo del área superficial de transferencia.

Fuente: Elaborado por los autores

Características del diseño

Diseño en tubos

De la lista elegir el tipo de fluido del intercambiador:

Área de transferencia de calor en los tubos  m<sup>2</sup>

Diámetro de la tubería

Longitud de la tubería

De la lista elegir el tipo de fluido del intercambiador:

Ni

El valor de tubos sin aproximar es de

Figura 5. Fragmento del programa DICT, para las características del diseño, específicamente el diseño de tubos.

Fuente: Los autores.



Figura 6. Fragmento del programa DICT, para las características del diseño de la coraza.

Fuente: Los autores

A lo largo del programa se encuentra el botón “limpiar” que permite vaciar los datos suministrados y hacer nuevamente los cálculos. Además, tiene la posibilidad de diseñar en sistema internacional y en sistema inglés.

El conjunto de las guías y el programa DICT elaborados de la manera en que se mostraron, permiten reunir de una forma concreta la metodología de la indagación, el diseño térmico de un intercambiador de calor tipo coraza-tubos y un OVA.

### 3.3. Implementación de una guía rápida usando la metodología propuesta para el proceso de enseñanza-aprendizaje del diseño de intercambiadores de calor tipo coraza-tubo

A continuación, se muestra la aplicación de la metodología propuesta para el proceso de enseñanza-aprendizaje del diseño de intercambiadores de calor tipo coraza-tubo. Entonces, en primera medida se describe la población a la cual fue aplicada la guía, seguidamente se describe la manera en la que se implementa la guía y finalmente se conoce los resultados y percepciones de los estudiantes respecto a la guía.

Es importante tener en cuenta, antes de hacer las correspondientes descripciones, que la guía que es implementada a este grupo de estudiantes es una guía rápida basada en la guía original elaborada por los autores, esto se debe a que, al no tener registros bibliográficos sobre la implementación de una metodología similar a la propuesta, la prueba que se realiza es un acercamiento a lo que resultará la implementación de la metodología en contextos educativos reales por primera vez. Esta guía rápida es implementada bajo la supervisión y asesoramiento de uno de los autores.

Ya que la metodología es elaborada especialmente para estudiantes de pregrado en ingeniería mecánica que hayan cursado transferencia de calor, o que lo estén cursando pero que se encuentren estudiando el tema de diseño de intercambiadores de calor o que ya hayan concluido el tema, se elige al grupo de estudiantes que cursan laboratorio de transferencia de calor en la Universidad del Valle en el segundo semestre del año 2017, quienes ya han aprobado la materia teórica y se encuentran cursando el laboratorio. Al ser un grupo de once personas, la población es lo suficientemente pequeña como para realizar un censo, por lo cual se convocó un día al grupo para realizar la primera prueba de la metodología.

En el día concretado por los estudiantes y el autor, sólo se presenta uno de los once estudiantes, por lo cual se elabora la prueba con esa persona. En primer lugar, se le explica que se va a resolver un problema de diseño de intercambiadores de calor tipo coraza-tubo teniendo en cuenta una serie de pasos, que son

los que corresponden a la nueva metodología, para darle solución.

Al seguir cada uno de los pasos, el estudiante plantea preguntas relacionadas con el desarrollo del problema, bien sea conceptuales o prácticas, a las cuales el autor responde y aclara, esto para continuar con el desarrollo del problema. Así mismo, en cada paso el autor le formula preguntas al estudiante, de tal forma que el ratifica si entiende o no con claridad la respuesta a la pregunta que le formularon. Una vez finalizado el desarrollo analítico del problema, se hace uso del programa DICT para comprobar si el resultado al que llegó el estudiante es correcto o no. Se concluye que los resultados son los mismos y que se llegó a la respuesta deseada. Luego de desarrollar este problema, se resuelve otro usando exclusivamente el programa de diseño DICT. Todo el proceso descrito duró una hora, ya que el estudiante tenía muchas dudas respecto al tema y se requirió de una explicación extensa del tema.

Una vez resueltos los dos problemas, se le presenta una encuesta sobre su percepción sobre la implementación de los pasos en la solución del problema y del uso del programa de diseño. Se le pide que califique unas afirmaciones de uno a cinco, siendo uno “en total desacuerdo” y cinco “totalmente de acuerdo”. A continuación, se muestra en la Tabla 4, las afirmaciones y la puntuación que es estudiante da sobre ellas.

Tabla 4  
Encuesta hecha a estudiante sobre la nueva metodología a la hora de resolver un problema.

Afirmaciones respecto a los pasos de la metodología y la implementación del programa	Calificación del estudiante
La lectura detenida del problema es pertinente para su desarrollo y entendimiento.	5
La elaboración del diagrama que representa el problema es importante para su mejor entendimiento.	5
Los supuestos del sistema permiten conocer las condiciones del mismo y así poder encaminar el problema de una manera correcta.	5
El reconocimiento de las variables conocidas y desconocidas permite identificar qué se espera identificar con el desarrollo del problema, y qué información me proporcionan para cumplir el objetivo.	5
Elaborar un listado de ecuaciones me permite reconocer la manera en la que las variables se relacionan.	5
Con los pasos que se llevaron a cabo previamente pude resolver fácilmente el problema.	4
En cada paso surgieron preguntas a nivel individual o grupal, que fueron resueltas a lo largo del desarrollo.	4
Aclaré dudas conceptuales que tenía sobre el diseño de intercambiadores de calor tipo coraza-tubo.	5
El uso del programa DICT complementa el desarrollo del problema y permite aclarar dudas	5

Fuente: Los autores

#### 4. Discusión

Al obtener como resultado dos guías o protocolos y un programa de diseño de intercambiadores, se muestra la forma en la que las herramientas pedagógicas e ingenieriles pueden unirse en beneficio de la formación de ingenieros mecánicos. La comprensión profunda de la manera en la que se abordan los problemas propuestos en el aula, y no su resolución mecánica o rutinaria, que permite esta nueva metodología, son los que ayudan a desarrollar en el ingeniero el pensamiento lógico y crítico necesario para resolver las dificultades que se le presenten en su vida laboral.

Con base en este desarrollo de pensamiento, las guías son una herramienta útil tanto para el estudiante como para el docente, ya que les proporciona un acompañamiento continuo en el proceso de enseñanza-aprendizaje, de tal forma que el estudiante sabe hacia dónde se dirige la solución del problema y el docente comprende la forma en la que debe apoyar al estudiante en el proceso. En relación al programa de diseño, es una herramienta visual para los usuarios ya que les permite profundizar en el tema del diseño de intercambiadores de calor tipo coraza-tubos. Aunque en el aula no se profundice en el diseño térmico de este tipo específico de dispositivos, con el uso del programa el estudiante puede aproximarse de manera general a los factores y cálculos que requiere este tipo de diseño.

Este primer artículo, pretende dar a conocer a la comunidad científica, los fundamentos del nuevo método de enseñanza-aprendizaje, el cual se fundamenta en la metodología de la indagación, el diseño térmico de intercambiadores y la aplicación de un objeto virtual de aprendizaje. Actualmente, el nuevo método está siendo implementado y monitoreado en un grupo de estudiantes de transferencia de calor, mediante el uso de las dos guías de enseñanza, una para el estudiante y otra para el profesor, y un programa de diseño de intercambiadores de calor. Esto con el objetivo de realizar un estudio robusto donde se obtenga cuantitativamente los beneficios del nuevo método para la enseñanza de intercambiadores de calor.

Por los motivos anteriores, en esta publicación solo se describen cualitativamente la implantación del método, en los estudiantes mencionados. Según las respuestas de una encuesta aplicada al grupo de estudiantes de transferencia de calor, se evidencia que el uso de la metodología es una herramienta útil en la solución de los problemas planteados en la guía del estudiante.

La metodología de la indagación, el diseño térmico de intercambiadores de calor tipo coraza-tubos y el uso de un OVA, no son términos nuevos dentro de la pedagogía y la ingeniería, sin embargo, no se había propuesto una manera en la que los tres conceptos se unieran a favor de un mejor proceso de enseñanza-aprendizaje en la formación de nuevos ingenieros mecánicos. Es por esto que, la estructura de la nueva metodología propuesta plantea una base en el desarrollo del pensamiento ingenieril, el cual permite formar profesionales competentes en su área de trabajo.

#### Referencias

- [1] CODELCO, Aprender y enseñar ciencias a través de la indagación, en: 2do Encuentro Educación y Minería, 2008.

- [2] Harlen, W., Evaluación y educación en ciencias basada en la indagación: Aspectos de la política y la práctica, 2013.
- [3] The Global Network of Science Academies, Report of the IAP Science Education Program Taking Inquiry-Based Science Education into Secondary Education A global conference, 2010.
- [4] National Research Council (NRC), National Science Education Standards. Washington DC, 1996.
- [5] National Science Foundation (NSF), The Challenge and Promise of K-8 Science Education Reform. Arlington, 1997.
- [6] Cengel, Y.A. and Ghajar, A., Heat and mass transfer. Fundamentals and Applications. 2014.
- [7] Sukhatme, S.P., A textbook on heat transfer, 4th ed. 2005.
- [8] Serth, R.W., Process heat transfer. Principles and applications, 2 ed.2007.
- [9] Aguilar, R. and Rafael, F., Metodología para el diseño de un intercambiador de calor de tubo de coraza, Rev. Inst. Politécnico Nac., 2, pp. 56-75, 2010.
- [10] Fonseca, L. and Riveros, L., Diseño térmico y mecánico de intercambiadores de calor de casco y tubo, Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia, 2009.
- [11] Parra-Castrillón, E., Propuesta de metodología de desarrollo de software para objetos virtuales de aprendizaje -MESOVA, Rev. Virtual Univ. Católica del Norte, 2011.
- [12] Ortega-Barba, C.F., Tecnologías de la información y la comunicación para la innovación educativa. En: Ruiz-Velasco E., (coordinador). México, CONAC y T/UNAM -Posgrado Pedagogía/Díaz de Santos Colección Estudios, 2012. Perfiles Educativos [en línea] 2014, XXXVI. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13230751014>.
- [13] Jiménez-García, F.N., Márquez-Narváez, C., Agudelo-Calle, J.D.J. and Beleño, L., Una experiencia didáctica en el diseño e implementación de objetos de aprendizaje para la enseñanza de la física, Revista Educación en Ingeniería, 11(22), pp. 13–20, 2016.
- [14] Jara, C., Real-time collaboration of virtual laboratories through the Internet, Comput. Educ., 52(1), pp. 126-140, 2009.
- [15] Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Proyecto Académico Pedagógico Solidario. 2011.
- [16] Rojas, F., Ingeniero de inclusión social, madres cabeza de hogar, LACCEI. Guayaquil - Ecuador, 2014.

**S.A. Carrión-Avellaneda**, recibió el título de Ing. Mecánico en 2006, de la Universidad Nacional de Colombia, en la sede Bogotá. Actualmente, es estudiante de Maestría en Ingeniería Mecánica en la Universidad Nacional de Colombia, en la sede Bogotá. Ha sido profesor en el área de ciencias térmicas, especialmente dirigiendo las asignaturas de termodinámica y transferencia de calor. Sus áreas de actuación son la educación en ingeniería, dinámica de fluidos computacional y el modelado de combustibles.  
ORCID: 0000-0001-7748-7302

**L.A. Ardila-Castro**, recibió el título de Ing. Mecánica en septiembre de 2016 de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, con énfasis en Gestión Eficiente y Sostenible de la Energía. Actualmente es estudiante de Maestría en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Mecánica en la Universidad del Valle. Ha realizado un trabajo investigativo realizado sobre el diseño e instalación de laboratorios de vapor. Tiene experiencia docente en física y estadística. Se encuentra actualmente vinculada al grupo de investigación de Dinámica de Fluidos en la línea de investigación de Energías Renovables no Convencionales de la Universidad del Valle.  
ORCID: 0000-0001-9708-3751

**C.A. Ramírez-Mendoza**, es estudiante de décimo semestre de Ing. Industrial en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Actualmente es miembro y líder del semillero de investigación en BPM (Business Process Management) del cual obtiene como resultado en el año 2017 la publicación y ponencia del artículo titulado "Estudio sobre la Cultura Nacional y Organizacional en Colombia para Favorecer la Formación de Perfiles más Afines con las Necesidades Organizacionales" en el Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI 2017.  
ORCID: 0000-0002-1323-9796

# Reflexiones sobre la importancia y diagnóstico del área estructural en programas de ingeniería civil en Colombia

Daniel Ricardo Salinas-Guayacundo

Facultad de Ingeniería Civil, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia. [daniel.salinas@escuelaing.edu.co](mailto:daniel.salinas@escuelaing.edu.co)

**Resumen**— En este artículo, la importancia del área estructural dentro de un programa académico de Ingeniería Civil es estudiada. Las características especiales de los programas en Ingeniería Civil en Colombia con énfasis en estructuras son tomadas como caso de estudio. Colombia es un país que está expuesto a una elevada amenaza sísmica además de poseer gran cantidad de edificaciones susceptibles a colapsar ante un evento sísmico. En los últimos 35 años, sismos moderados han destruido varias ciudades, han producido cientos de pérdidas humanas y materiales porque un número importante de sus edificaciones fueron diseñadas y construidas con poca o ninguna consideración de los efectos sísmicos. En este documento, tres programas en Ingeniería Civil (área estructural) fueron seleccionados y estudiados aleatoriamente estudiando dos aspectos (1) Docentes (formación y producción académica y contenidos programáticos), y (2) infraestructura (laboratorios y material de apoyo). Producto de lo anterior se encontró que el ítem de los profesores contribuye más en la calidad de la Universidad. Por lo tanto, aspectos relacionados con la formación de estudiantes colombianos en programas doctorales nacionales e internacionales son estudiados.

**Palabras Clave**— Ingeniería civil; estructuras.

Recibido: 19 de julio de 2017. Revisado: 18 de octubre de 2017. Aceptado: 27 de octubre de 2017.

## Reflexions about the importance and current situation of the structural area in civil engineering programs in Colombia

**Abstract**— This paper, the importance of the structural area inside the core program of Civil Engineering is studied. Special characteristics of the Colombian academic programs in Civil Engineering (Structures) are taken as a case study. This country exhibit an elevated seismic hazard, and has a large stock of non-ductile buildings. In the past 35 years, moderate earth-quakes have destroyed several cities, killed thousands of people, and have produced significant infrastructure losses because an important number of its structures were designed and constructed with little or no consideration of lateral load effects (i.e. especially for those structures designed and constructed prior to the establishment of the Colombian's earthquake safety standard in 1984). In this document, three random Civil Engineering programs (Structures) in Colombia are studied, and two aspects are mainly considered: (1) professors (educational background, research production and academic syllabus), and (2) university infrastructure (labs and academic tools). It was found that the main aspect which contributes to the overall University quality is the professors' item. Therefore, several aspects related with the Colombian students inside local and international graduate programs are studied.

**Keywords**— Civil engineering; structures.

### 1. Introducción

El sistema estructural, pórticos de concreto reforzado, constituye una parte importante del inventario de edificaciones

en áreas propensas a sufrir de terremotos en el mundo. Un número importante de estas edificaciones, en especial las diseñadas y construidas antes de la aparición y vigencia de las provisiones sísmo-resistentes, no fueron diseñadas y construidas para que tengan la capacidad de tener un buen desempeño ante un evento sísmico moderado o severo. Este tipo de edificaciones en especial, representan un riesgo para la integridad de los habitantes. En la Fig. 1 tomada de [1], se presenta la población mundial acumulada junto con las muertes acumuladas globales generadas por terremotos: desde 1900 a 2011, con 1000 o más muertes reportadas, y desde 1968 a 2011 para terremotos con una o más muertes. Se puede apreciar que, aun en años recientes, existe una relación directa entre el número de muertes producidas por terremotos y el incremento en la población mundial. Resulta interesante que a pesar de los avances en ingeniería sísmica, introducidos desde el final de la década de los 60's, estos avances han sido insuficientes para reducir la pendiente en la curva acumulada de muertes. Esto puede explicarse por el hecho de que el nuevo conocimiento en ingeniería sísmica es incorporado eficientemente a edificaciones nuevas, mientras que la tendencia es que el grueso de edificaciones existentes permanece sin ningún tipo de diagnóstico, evaluación y/o reforzamiento estructural. Así que, debido al crecimiento poblacional reportado en los centros urbanos, hoy por hoy, muchas más personas están expuestas a los riesgos asociados a la presencia de edificaciones construidas sin conciencia sísmica. Lo anterior es más evidente en países emergentes. Lo que confirma una de las máximas en ingeniería estructural, "Los terremotos no matan personas, las edificaciones mal diseñadas y construidas lo hacen". Por tanto este tipo de edificaciones representan un peligro inminente para la comunidad; lamentablemente Colombia no es ajena a esta realidad.

Colombia es un país caracterizado por tener una elevada amenaza sísmica [2] acompañado de presentar una elevada vulnerabilidad sísmica de su infraestructura. En los últimos 35 años, sismos moderados (ej: Popayán 1983 magnitud: Ms 5.0 [3], Armenia 1999 magnitud mL 6.1 [4,5]) han destruido varias ciudades, han ocasionado la muerte a cientos de personas, y han producido pérdidas significativas en su infraestructura. Un número

**Como citar este artículo:** Salinas-Guayacundo, D.R., Reflexiones sobre la importancia y diagnóstico del área estructural en programas de ingeniería civil en Colombia. Educación en Ingeniería, 13(25), pp. 72-81, Febrero, 2018.

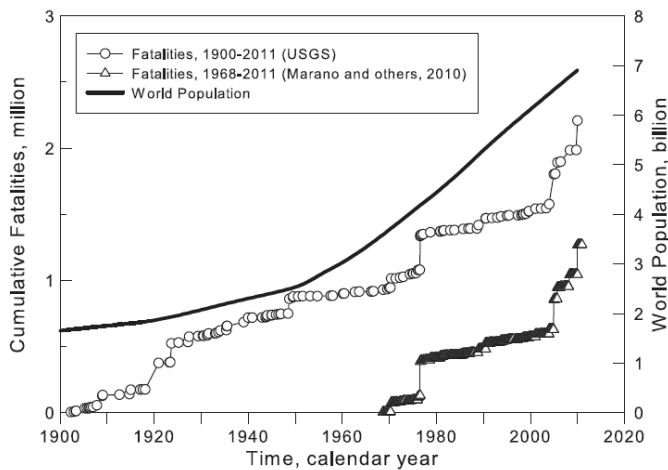


Figura 1. Muertes acumuladas globales generadas por terremotos desde 1900 a 2011, con 1000 o más muertes reportadas, y desde 1968 a 2011 para terremotos con una o más muertes. Fuente: [1].

importante de sus edificaciones fueron diseñadas y construidas con poca o ninguna consideración de los efectos sísmicos (especialmente en edificaciones diseñadas y construidas antes de la creación del código colombiano de diseño y construcción sismo-resistente en 1984). Por otra parte, en relación a la modelación de la amenaza sísmica, se puede decir que Colombia requiere un trabajo importante en esta área, con la limitante que la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) es relativamente joven. Adicionalmente, aspectos culturales atípicos y construcción informal presentes en Colombia introducen una complejidad adicional en el proceso de determinación cuantitativa de la vulnerabilidad estructural de sus edificaciones.

Las anteriores características hacen imperativo que se fortalezca la formación de los Ingenieros Civiles en el área estructural. Se requiere una educación de calidad que incorpore los avances teóricos en este campo que permitan enfrentar competentemente las actuales necesidades del país. Lamentablemente, la realidad evidencia que la mayoría de instituciones de educación superior, donde el programa de Ingeniería Civil es ofertado, tienen un largo camino por recorrer en términos de los procesos de: acreditación, mejoramiento continuo y autorregulación de sus programas. No es admisible que, con el actual nivel de conocimiento en ingeniería estructural a nivel mundial, sismos moderados sigan produciendo elevadas pérdidas humanas y materiales. Por otra parte, resulta inconcebible que se sigan presentando, recurrentemente en los medios de comunicación, noticias evidenciando: problemas estructurales, colapsos parciales o totales en proyectos recientemente terminados o en construcción en Colombia. Por lo tanto, es pertinente revisar la importancia del área estructural dentro de los programas de pregrado en Ingeniería Civil, y mirar racionalmente su situación en el entorno académico nacional.

## 2. Importancia del área estructural dentro de los programas de Ingeniería Civil en Colombia

Colombia está localizada en el cinturón de fuego del pacífico, una de las zonas sísmicas más activas del mundo, a la cual se le atribuye el 90% de los sismos a nivel mundial [6]. El

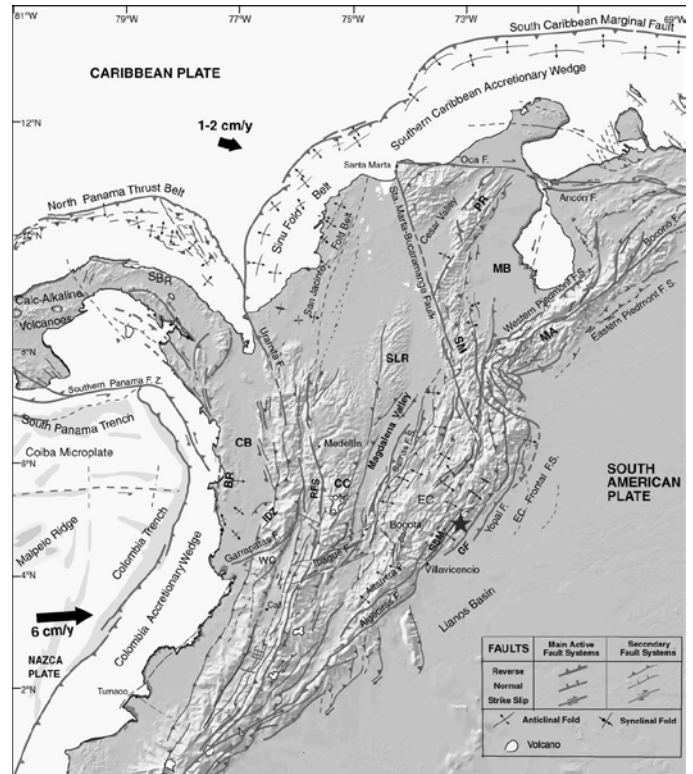


Figura 2. Placas tectónicas y fallamiento encontrado en la parte norte de Suramérica. Fuente: [9].

territorio colombiano se encuentra ubicado sobre la placa Suramericana. En el oeste del territorio colombiano, la placa Nazca subduce debajo de la placa Suramericana a una velocidad de 61 milímetros por año, la placa Caribe se mueve en contra de la placa Suramericana a razón de 10 mm por año a una menor velocidad relativa [7]. Otro aspecto interesante es la presencia en Colombia del nido de Bucaramanga (The Bucaramanga nest) el cual es el lugar con mayor concentración de terremotos intermedios/profundos en el mundo [8]. La gran mayoría de habitantes en Colombia se encuentran asentados sobre la cadena montañosa de los Andes, una zona geológica de fallamiento complejo y activo mostrado en la Fig. 2 [9]. Por ejemplo, el sistema de fallas de el Romeral se extiende por más de 1600 kilómetros desde Barranquilla hasta Talara en Perú. De acuerdo con el censo nacional de población realizado en el 2005-2006 [10], y la Norma de Diseño y Construcción Sismo-Resistente de Colombia (NSR-10) [11] se puede establecer que alrededor del 90% de los Colombianos viven en zonas de amenaza sísmica alta o intermedia. Los anteriores hechos permiten establecer el elevado nivel de amenaza sísmica en el que se encuentra Colombia.

En relación a la normatividad sísmica de Colombia, el Código de Diseño y Construcción Sismo-resistente de Colombia empezó a regir por decreto en Junio 7 de 1984 como consecuencia de los terribles efectos del terremoto de Popayán, ocurrido el jueves santo, Marzo 31 de 1983 [3]. El Código colombiano se basó en el documento AIS 100 elaborado en 1981 por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [12] el cual se fundamentaba en dos documentos: “The

Recommended Lateral Force Requirements and Commentary” elaborado por La Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC) escrito en 1974 [13] y el libro elaborado por el Applied Technology Council ATC 3-06 [14]. Desde su creación en 1984, el código Colombiano ha sido actualizado en dos ocasiones, en 1998 (NSR-98) y en 2010 (NSR-10). Es importante recalcar que antes de la vigencia del código de 1984, el diseño sismo-resistente no era obligatorio, adicionalmente en aquellos días existía la creencia que el diseño sismo-resistente no era requerido en edificaciones de 5 pisos o menos [15]. Lo anterior permite inferir que algunas de las edificaciones colombianas, diseñadas y construidas antes de la vigencia del código del 84 pueden carecer de la ductilidad requerida para tener un adecuado desempeño ante un evento sísmico lo que indicaría que estas edificaciones presentarían una elevada vulnerabilidad sísmica.

Sismos de mediana intensidad, han expuesto la elevada vulnerabilidad de las edificaciones colombianas. El 31 de marzo de 1983 el terremoto de Popayán afectó principalmente a la ciudad de Popayán y a los municipios del Timbío y Cajibío en el Cauca. El terremoto de magnitud Ms 5.0 produjo alrededor de 200 muertos, 2470 viviendas fueron destruidas, 6.680 sufrieron daños considerables, y aproximadamente 10.000 personas fueron damnificadas [3]. Otro claro ejemplo es el terremoto del Quindío del 25 de enero de 1999. El terremoto de magnitud mL 6.1 devastó a las ciudades de Quindío y Pereira principalmente. De acuerdo con el Servicio Geológico Americano (USGS), por lo menos 1185 personas resultaron muertas, alrededor de 700 personas se reportaron pérdidas, presuntamente muertas, se presentaron 4750 heridos, y alrededor de 250.000 personas perdieron su hogar [5]. Por otra parte, existe un estudio sobre el escenario de un sismo de magnitud 7.5 en Bogotá, [16], la conclusión convergente es que el resultado sería lamentable, en términos de pérdidas humanas y de infraestructura. Ahora bien, el estudio fue adelantado en el mayor centro urbano de Colombia, luego el panorama general sería preocupante, en especial, en lugares donde no existen procedimientos estrictos de revisión, aprobación, seguimiento y control de los proyectos de construcción. Todo lo anterior evidencia la elevada vulnerabilidad de la infraestructura Colombiana.

Por otra parte, en el campo relacionado a la caracterización de la demanda sísmica es pertinente recordar que la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) es relativamente joven. La RSNC se hizo operacional en 1993. Después de los efectos negativos del terremoto de Popayán de 1983 [3] y de la erupción del volcán nevado del Ruiz, que produjo la muerte de 20.000 personas aproximadamente en noviembre 13 de 1985, el gobierno nacional decidió invertir recursos en una nueva red sismológica [17]. Las Naciones Unidas (UN), y la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (CAID), aportaron importantes recursos económicos y de capacitación, para modernizar la RSNC que hoy es administrada por el Servicio Geológico Colombiano (antiguo INGEOMINAS) [17]. En la actualidad, la RSNC cuenta con 65 estaciones sismológicas activas, y 6 estaciones de red portátil [18]. El propósito de la red portátil es servir de apoyo a la RSNC en el registro de réplicas presentadas después de un evento sísmico fuerte, y

también servir a los observatorios vulcanológicos en situaciones de emergencia, y también para apoyar la realización de proyectos de investigación.

Sumado a lo anterior, es pertinente tener en cuenta la realidad de la infraestructura en Colombia. En la actualidad, es común enterarse de noticias sobre edificaciones en proceso de construcción, o recién construidas, evidenciando problemas estructurales, o incluso presentando colapsos estructurales ocasionando pérdidas humanas y materiales. Dentro de las fallas más comunes aplicadas a proyectos de construcción en Ingeniería Civil se pudieran mencionar: ausencia de diseño y planeación, errores o modificaciones no autorizadas en etapas de diseño, errores en la construcción, materiales y mano de obra de baja calidad, entre otros [19]. Las anteriores causas pudieran ser detectadas si un proceso competente de revisión, supervisión y control es estrictamente aplicado a los proyectos de infraestructura en Colombia. Lamentablemente, la calidad y eficiencia en los procesos de seguimiento y control varía considerablemente dependiendo de la localización del proyecto, y las entidades encargadas de revisar, aprobar los diseños y supervisar la construcción del mismo. La importancia en la revisión en las etapas de diseño y construcción resulta evidente en sistemas estructurales construidos en concreto reforzado, por mencionar un ejemplo. En este tipo de sistemas estructurales, el detallamiento, es decir la colocación, dimensiones y especificaciones del acero de refuerzo y concreto, controla la resistencia del sistema estructural.

Por lo anteriormente expresado, es innegable la elevada amenaza y vulnerabilidad sísmica presentada en Colombia. En la actualidad, existe un elevado porcentaje de edificaciones vulnerables a presentar colapso parcial o total en Colombia ante un evento sísmico mayor o moderado. A pesar de que las edificaciones diseñadas únicamente para resistir acciones gravitacionales tienen cierta resistencia lateral inherente, esta resistencia no es suficiente para que tengan un buen desempeño ante un evento sísmico [6]. Lo anterior ha sido validado en la reciente historia sísmica en Colombia [3-5]. Aunque en los últimos años, algunas edificaciones han sido reforzadas estructuralmente en Colombia, el grueso de sus edificaciones no presenta intervención alguna. Lo anterior en parte, por la falta de políticas gubernamentales, falta de interés y conciencia sísmica de los propietarios, pero en especial, por la ausencia en la investigación, propuesta, validación e implementación de técnicas factibles, eficientes y prácticas aplicadas al reforzamiento estructural de edificaciones en Colombia. Luego, las Universidades y centros de investigación tienen una responsabilidad importante en este sentido. En la actualidad, es común apreciar que las personas que viven en edificaciones con elevada vulnerabilidad, a menudo, no son conscientes de la elevada vulnerabilidad de sus hogares. Lo anterior puede ser explicado por la historia sísmica reciente en Colombia donde, si bien en cierto, se han presentado algunos eventos sísmicos, estos eventos han sido de magnitud moderada/baja, alejados de los centros urbanos, o estos se han presentado a una profundidad considerable, donde a pesar de ser percibidos por los habitantes, el efecto sobre las edificaciones no es de importancia. Lo anterior ayuda a afianzar el falso nivel de seguridad percibido por los propietarios de estas edificaciones y de la comunidad en

general, al mismo tiempo desestimula la formulación de proyectos de investigación y reforzamiento estructural; y se relega a un segundo plano, la importancia del área estructural en programas de Ingeniería Civil.

Por lo tanto, es necesario que los programas académicos de Ingeniería Civil, en el área estructural, respondan de una manera eficaz ante las problemáticas anteriormente presentadas. Bajo el criterio del autor, y basado en el elevado riesgo y vulnerabilidad de la infraestructura en Colombia, se requiere que dentro del área estructural se incorporen los avances en esta área del conocimiento y específicamente que se profundice en el estudio de la: (1) modelación determinística y probabilística del riesgo sísmico, apoyados en los datos aplicables al caso Colombiano suministrados por la RSNC, (2) modelación sistemática y cuantitativa que permitan determinar la vulnerabilidad de diversos sistemas estructurales, (3) propuesta, modelación, cuantificación y validación de técnicas eficaces de reforzamiento estructural, y (4) formación integral de profesionales competentes en la elaboración, revisión, y construcción de proyectos de infraestructura.

Una vez presentada la justificación conceptual sobre la importancia del área Estructural dentro de los programas de formación en Ingeniería Civil en Colombia, se procede a revisar su situación actual, tendencias y prácticas que se encuentran en algunas universidades en Colombia.

### 3. Análisis de la situación actual del área estructural en tres programas de Ingeniería Civil en Colombia

El objetivo de la presente sección es revisar la situación actual del área estructural en algunos programas de Ingeniería Civil ofrecidos en Colombia, a partir de la comparación directa de tres programas académicos seleccionados al azar, de entre un ranking de programas de Ingeniería. La idea de seleccionar programas académicos de un ranking universitario existente en Colombia, tiene que ver con la posibilidad de comparar únicamente tres programas académicos que permitan emitir unas reflexiones preliminares sobre la situación actual del área estructural en programas de Ingeniería Civil en Colombia, sin la necesidad de realizar un análisis detallado sobre una muestra representativa de las instituciones colombianas. El objetivo es seleccionar el primer programa académico buscando que se encuentre ubicado en los primeros lugares del ranking, el segundo y tercer programa académicos se esperan se encuentren en una posición aceptable y promedio, respectivamente, dentro del ranking. En ese sentido, se seleccionó el ranking elaborado por la revista dinero [20], quien utilizó los resultados de las pruebas Saber Pro de 2016 para elaborar un ranking de las Universidades Colombianas agrupados según los pregrados que ofrecen. De este ranking, únicamente los resultados presentados bajo el nombre de “ingeniería” son usados en este documento. El grupo “ingeniería” agrupa los siguientes programas de ingeniería: sistemas, industrial, electrónica, civil, mecánica, ambiental, eléctrica, de alimentos, agroindustrial, agronómica y química. Es pertinente recalcar que las pruebas Saber Pro evalúan tanto las competencias específicas de cada programa así como las competencias genéricas (comunicación escrita, razonamiento cuantitativo, lectura crítica, competencias

ciudadanas e inglés). En la Fig. 3 se presenta el resultado de esta clasificación, agrupada según la localización de la geográfica de la Universidad. En la Fig. 3, el color de cada círculo indica el departamento donde se encuentra ubicada la institución universitaria, mientras que el tamaño del círculo es un indicativo de la posición de la Universidad dentro del ranking; es decir, círculos grandes representan los primeros lugares y a medida que se reduce el tamaño del círculo, indica puestos inferiores dentro del ranking. En el eje vertical de la gráfica, se presentan únicamente las 150 mejores universidades en ingeniería según la clasificación reportada por la revista dinero. Ahora, antes de proceder a seleccionar y analizar los tres programas académicos, es conveniente analizar la información contenida en la Fig. 3. De la gráfica se observa tanto en Antioquia y Cundinamarca, la oferta académica es amplia y diversa; la percepción implícita de calidad, es decir su posicionamiento dentro del ranking, varía de forma gradual. Por otra parte, en las universidades localizadas en Atlántico, Bolívar, Caldas y Santander, se presentan marcadas transiciones entre dos instituciones educativas; con diferencias aproximadas de 70, 50, 50 y 60 puestos respectivamente, entre dos universidades del mismo departamento. En Boyacá, una misma institución, con tres seccionales localizadas en diferentes ciudades, obtuvo los mejores resultados, con una diferencia aproximada de 15 puestos entre las seccionales. Esta institución marcó una diferencia significativa entre las demás Universidades del departamento, aproximadamente 30, 60 y 100 puestos. Finalmente respecto a las universidades localizadas en el departamento del Valle del Cauca, se puede afirmar que aproximadamente el 70% de sus universidades se localiza dentro de los mejores 65 puestos del ranking de los programas de Ingeniería analizados, lo que entrega una percepción de homogeneidad en las mayoría de sus instituciones.

Es pertinente aclarar que si bien es cierto, se pudiera argumentar que existiría cierta subjetividad al clasificar una institución de educación superior únicamente por medio de un parámetro discreto, que en este caso, es el resultado de la prueba Saber Pro de 2016, el ranking seleccionado tiene como finalidad proveer un listado jerárquico sobre el cual se seleccionarían tres programas académicos al azar, con las características ya mencionadas, para analizar la situación actual del área estructural dentro del programa de Ingeniería Civil en estas Universidades.

Luego, la anterior información brinda un contexto adecuado para estudiar tres instituciones localizadas dentro de las 70 primeras instituciones del ranking seleccionado. Principalmente, cada universidad es estudiada teniendo en cuenta dos enfoques: (1) el talento humano asociado al área estructural, es decir, formación de los docentes, productividad académica, y pertinencia de los contenidos programáticos, y (2) la infraestructura de la Facultad, es decir, laboratorios, y equipos usados en el proceso de enseñanza. Los datos para realizar el análisis de los programas académicos fueron extraídos directamente de las páginas web de estas instituciones. Se filtró el ranking y para introducir cierta homogeneidad, al respecto, únicamente programas académicos de Ingeniería Civil, que poseen acreditación entregada por el



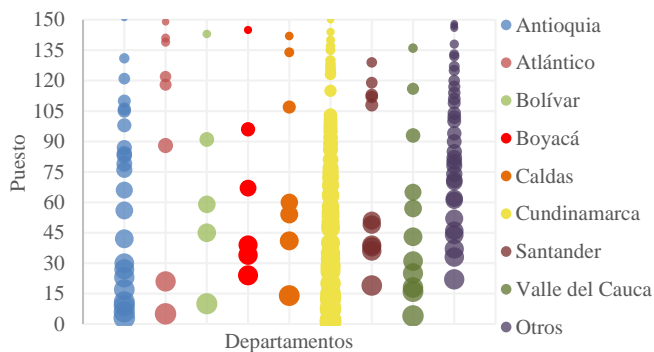


Figura 3. Gráfico de burbujas ranking de los 150 primeros puestos por departamento, según [20].

Fuente: El Autor.

CNA (Consejo Nacional De Acreditación) fueron considerados. En conveniente aclarar que, en términos generales, el proceso de acreditación universitaria en Colombia, es un proceso institucional voluntario a través del cual se busca que las instituciones garanticen a la sociedad un adecuado nivel de calidad y credibilidad en el quehacer docente. A continuación se presentan las instituciones de educación superior seleccionadas aleatoriamente.

### 3.1. Universidad 1

En el ranking En el ranking [20], esta institución se encuentra ubicada dentro de los primeros 10 puestos. Según los datos provistos en la página web oficial de esta institución, Los docentes que laboran en el área estructural del programa de Ingeniería Civil, cuatro (4) poseen formación doctoral y dos (2) tienen el título maestría como formación máxima obtenida, ambas titulaciones obtenidas en Universidades Americanas, y un doctorado obtenido en una Universidad Británica. Adicionalmente, existen dos (2) docentes con formación de magister en el área estructural, titulaciones obtenidas una en Colombia, y otra en el exterior. Todos los títulos universitarios fueron obtenidos en el área estructural. Respecto a la productividad investigativa, los docentes del área estructural cuentan con más de 50 artículos de investigación publicados en revistas catalogadas dentro del cuartil 1 (Q1) en SJR (SCImago journal Rank), además, cuentan con un número importante de participaciones en eventos nacionales e internacionales. A pesar, de que el Programa de Ingeniería Civil es de 4 años, los contenidos del área estructural son cubiertos adecuadamente e incorporan un adecuado balance entre los métodos tradicionales de análisis estructural y los métodos matriciales. Los laboratorios del área estructural son de última tecnología; además, los docentes cuentan con un número importante de modelos a escala reducida para apoyarse en la enseñanza teórica y conceptual de temas relacionados con Ingeniería Estructural.

### 3.2. Universidad 2

Esta institución se encuentra ubicada dentro del puesto (30 al 40) según [20]. Basados en los datos reportados en la página

oficial de esta institución universitaria, en el programa de Ingeniería Civil, el área estructural cuenta con cinco (5) docentes titulares asignados al área estructural, cuatro (4) de ellos poseen título de magíster en Ingeniería Civil, de los cuales tres (3) lo obtuvieron en Colombia, y uno (1) lo obtuvo en una Universidad de Latinoamérica. El docente restante, posee título de especialista obtenido en una institución en Colombia. Los cinco (5) docentes poseen sus estudios de posgrado en el área específica del conocimiento, es decir formación en estructuras. Respecto a la productividad académica, no aparecen registrados productos de investigación en revistas internacionales, sin embargo se relacionan algunas capacitaciones en cursos de corta duración. La Facultad cuenta con un laboratorio modesto relacionado con el área estructural, no se reconoce la existencia de modelos a escala usados en la enseñanza de las asignaturas del área estructural. El programa académico es de 5 años, y en relación a los contenidos programáticos, se debe decir que estos son pertinentes. Adscrito a la Facultad de Ingeniería Civil, se encuentra asociado un programa de Especialización es Estructuras.

### 3.3. Universidad 3

Esta institución se encuentra ubicada dentro del puesto (50 al 70) de acuerdo con [20]. Según los datos proporcionados en la página web oficial de esta institución, se relaciona nueve (9) docentes adscritos al área estructural. Cuenta con tres (3) docentes con título de especialista y un (1) docente con título de maestría, ambas titulaciones obtenidas en el área estructural. Tres (3) docentes poseen títulos de especialización y uno (1) adelanta estudios de maestría, ambos en otras áreas del conocimiento. El docente restante, no es ingeniero Civil, pero posee título doctoral en otra área del conocimiento diferente al área estructural, dicho posgrado fue realizado en Colombia. Respecto a la productividad académica, se registran dos artículos internacionales, y seis nacionales, ambas producciones en un área diferente al área estructural. La Facultad no registra laboratorio asociado con el área estructural; al igual no se reconoce la existencia de modelos a escala usados en la enseñanza de las asignaturas del área estructural. El programa de Ingeniería Civil es de 5 años y respecto a los contenidos programáticos se puede decir que se hace demasiado énfasis en métodos tradicionales de análisis y los métodos matriciales de análisis estructural, tienden a ser ignorados. Otros contenidos son suficientes, pero al ser orientados por docentes con formación profesional en otra área del conocimiento, se desconoce el enfoque, tratamiento y profundidad con que se imparten. Existe un programa de Especialización en Estructuras adscrito a la Facultad de Ingeniería Civil en esta universidad, pero este programa cuenta con docentes externos diferentes, en su mayoría, a los vinculados al área de estructuras de pregrado.

### 3.4. Análisis de las universidades presentadas

Si bien es cierto existe una diferencia significativa en términos de infraestructura entre las Universidades analizadas en este documento, se puede establecer que la diferencia esencial tiene que ver con el recurso humano. La Tabla 1 presenta la relación

Tabla 1

Porcentaje de docentes según formación profesional y área del conocimiento en las Universidades analizadas.

Universidad	Especialistas (%)		Magister (%)		Doctorado (%)	
	Estructuras	Otras	Estructuras	Otras	Estructuras	Otras
1	0	0	50	0	50	0
2	20	0	80	0	0	0
3	33.3	<b>44.4</b>	11.1	0.0	0.0	<b>11.1</b>

Fuente: El autor.

porcentual asociada a la formación profesional de los docentes de las tres universidades analizadas. Es claro que la universidad 3 posee un elevado porcentaje de sus docentes con formación como especialistas (78%), pero lo más llamativo es que el 56% de sus docentes tienen formación académica en un área diferente al área estructural, a pesar de la importancia de esta área y responsabilidad dentro de los programas de formación en Ingeniería Civil discutidos en el literal 2 de este documento. Adicionalmente, resulta evidente el bajo nivel de docentes con formación doctoral en estructuras en las tres universidades analizadas. La universidad 1 cuenta con docentes adscritos al área estructural con formación doctoral en esta área del conocimiento y registra un 50% de sus docentes con esta formación. Las universidades 2 y 3 no poseen docentes con formación doctoral en estructuras. A pesar de que la universidad 3 cuenta con un docente con formación doctoral, al no tener formación previa como Ingeniero Civil y al registrar maestría y doctorado en un área del conocimiento diferente al área estructural, se desconoce la contribución y el impacto dentro del área estructural en esta institución.

Por lo tanto, resulta evidente la importancia del factor humano dentro de las universidades. La importancia del área estructural en programas de Ingeniería Civil en Colombia, requiere profesionales comprometidos y con formación de alto nivel para adelantar los procesos de investigación, desarrollo e innovación que este país requiere. Lo anterior siendo consistente con la elevada amenaza y vulnerabilidad sísmica de la infraestructura de este país. La Tabla 1 es clara en indicar el bajo porcentaje de docentes con formación doctoral en estructuras dentro de los programas de Ingeniería Civil analizados. Por lo anterior, es conveniente dar una mirada sobre la formación doctoral en programas de Ingeniería Civil en Colombia para poder entender las tendencias actuales y prácticas comunes que ayuden a explicar déficit de docentes con formación doctoral de calidad en el área estructural.

#### 4. Antecedentes sobre la formación doctoral en Ingeniería en Colombia

En la década del 80 en Colombia, el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (Colciencias) incluye en su presupuesto recursos encaminados a la formación de recurso humano de alto nivel [21]. Colombia inicia tarde este proceso comparado, con países como Estados Unidos, y México que desde 1945 y 1970, respectivamente ya impulsaban programas de formación doctoral. En la actualidad, se estima que Colombia gradúa 6.6 doctores por cada millón de habitantes (6.6 d/mh). En contraste,

Estados Unidos gradúa alrededor de 200 (d/mh), la India, un país emergente, gradúa alrededor de 20 (d/mh) [22], y en Latinoamérica se tiende a triplicar la cifra colombiana. Según cifras de Colciencias, entre 2004 y 2014 se han graduado 2.636 que han cursado, al menos uno, de los más de 205 programas que ofrecen las universidades locales. Según el CNA, a 2014 en Colombia existen alrededor de 43 instituciones académicas que ofrecen programas de formación doctoral, muy pocos de estos programas se encuentran acreditados y se requerirá un tiempo prudente para que la calidad de los mismos y el impacto de sus egresados sean evaluados con miras a su acreditación. Es pertinente aclarar que, al igual que sucede en los programas de pregrado, el proceso de acreditación de los programas de posgrado, es un proceso autónomo y voluntario del programa doctoral. El proceso de acreditación se fundamenta en políticas de autoevaluación, mejoramiento continuo y autorregulación, a diferencia de los procesos de registro calificado, el cual es un proceso obligatorio. Este proceso toma varios años llevarlo a cabo, y en caso de no obtenerse los resultados esperados se puede (i) tratar de aplicar medidas correctivas o (ii) simplemente requerir o tramitar un nuevo registro calificado y empezar el proceso de nuevo. Por lo anterior la oferta académica de programas doctorales internacionales, que cuentan con una adecuada trayectoria, calidad y respaldo académico e investigativo, resulta más atractiva y confiable desde el punto de vista académico, puesto que permite disminuir la incertidumbre asociada a la calidad, comparado con los programas doctorales nacionales que aún no se encuentran acreditados. Al mismo tiempo, según el SCImago Institutions Rankings (SIR) 2017, tres Universidades colombianas se ubican dentro de los primeros 600 puestos (se ubican los puestos 557, 593, 597) dentro del ranking mundial de investigación. Luego, si se cuenta con los recursos de financiación suficientes, los anteriores argumentos pueden influenciar la escogencia de realizar un programa doctoral internacional.

En Colombia en las últimas décadas ha aumentado considerablemente la demanda de doctores. Las motivaciones para realizar un doctorado se fundamentan en el deseo de mejorar las capacidades técnicas, analíticas, críticas y conceptuales, mejorar competitividad, desarrollar las competencias de trabajo autónomo encaminadas a la construcción de nuevo conocimiento que aporte al desarrollo de la comunidad. Adicionalmente, en Colombia la política de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) es uno de los principales lineamientos del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 [23], su ideal es lograr una Colombia en paz, equitativa y la más educada de América Latina. En el diagnóstico de la política del CTI se identificó, principalmente, que el país y sus regiones no han logrado impulsar el desarrollo económico y social a través de la Ciencia, Tecnología e Innovación, por lo tanto resulta imperativo invertir, en el mediano plazo, en el capital humano pensando en el fortalecimiento futuro de: (1) investigación y desarrollo, (2) innovación y emprendimiento, y (3) transferencia de conocimiento y tecnología. Producto de lo anterior en los últimos años, el gobierno nacional, a través de Colciencias en especial, ha trabajado principalmente en apoyar la realización de estudios doctorales en instituciones

académicas reconocidas, dentro y fuera del país. La decisión de optar por una formación doctoral en Colombia, o en el exterior radica principalmente en las restricciones de: aceptación, económicas, familiares, y de segunda lengua. Se estima que en promedio un doctorado nacional puede valer \$250 millones y uno en el exterior, alrededor de \$400 millones [24], sin incluir, en programas de tiempo completo, el costo asociado al lucro cesante que el estudiante experimenta en su etapa de estudios. Recientemente, se ha presentado una desaceleración importante de colombianos accediendo a estudios doctorales nacionales e internacionales. Según cifras de Colciencias las becas para doctorado pasaron de 650 en 2015 a 222 en 2016. La desaceleración puede atribuirse principalmente a la fuerte reevaluación que el dólar ha registrado respecto a la moneda local en los últimos años. Cabe recalcar que, la vasta mayoría de profesionales en Colombia requieren de becas para poder acceder a la oferta doctoral. Ahora bien, estas becas son, en realidad, créditos condonables, que como cualquier otro préstamo generan intereses, pero si se termina satisfactoriamente el doctorado, se retorna al país y se trabaja un periodo de tiempo en actividades de CTI, se puede aplicar a un porcentaje de condonación de la deuda, y el capital restante no condonado, más los intereses generados, deberán ser cancelados por el beneficiario en unas condiciones predefinidas. Entidades como Colfuturo, en su programa genérico de crédito beca, ofrecen créditos-becas condonables que van del 50 al 60% del capital entregado, y programas de Colciencias pueden cubrir hasta el 100% del capital prestado.

#### **4.1. Situación actual de los programas doctorales en Ingeniería Civil en Colombia**

Es necesario puntualizar que en Colombia a nivel de pregrado, En el 2015, existían cerca de 6.400 programas de educación superior de los cuales 909 (14,2%) estaban acreditados, y en términos de universidades, de un total de 287 instituciones de educación superior 39 (13,6%) contaban con acreditación institucional [22]. Ahora en lo referente a programas de posgrado en Ingeniería Civil, se debe mencionar que existe una baja oferta de programas de Maestría y Doctorado. Un elevado porcentaje de los mismos, se concentran en pocas instituciones de educación superior ubicadas principalmente en Bogotá, Medellín, Cali y Bucaramanga. Lamentablemente, la oferta académica de calidad nacional no ha crecido tan rápido como la demanda, por lo anterior se ha observado dos (2) tendencias en los últimos años aplicables a los profesionales formados como Ingenieros Civiles en Colombia, específicamente se ha observado que estos profesionales: (i) incursionan en programas doctorales diferentes al área de desempeño y experticia previa, y (ii) acceden a programas doctorales online o semi-presenciales, de discutible calidad y rigurosidad académica.

Como se mencionó anteriormente, uno de las mayores limitantes en la formación doctoral en Ingeniería Civil y en otras áreas del conocimiento, es la centralización y la baja oferta académica comparada con la demanda actual. Como consecuencia de lo anterior, en los últimos años se ha vuelto más común ver ingenieros accediendo a ofertas doctorales

diferentes a su perfil académico. Por ejemplo, es el caso de Ingenieros Civiles, desempeñándose en áreas como: Estructuras, Geotecnia, Recursos Hídricos, Ambiental, Vías y Transporte y Construcción, realizando doctorados en áreas diferentes al área de experticia previa, generalmente accediendo a Doctorados en Educación, u otros programas doctorales ofertados cerca de la ciudad de trabajo y residencia del profesional. Esta opción le permite a docentes que ya se encuentran vinculados laboralmente a una institución de educación superior a que exploren un área nueva del conocimiento, y de una manera flexible, puedan estudiar y seguir trabajando simultáneamente. Finalizado el programa doctoral, el docente podrá acceder a un ascenso en su escalafón docente y mejorar su nivel salarial.

Las modalidades de doctorados online o semi-presencial han cobrado mucha fuerza en los últimos años en Colombia. Los elevados costos de la oferta académica de programas doctorales de calidad internacionales y nacionales, sumados a la baja tasa de retorno de la inversión en el mediano plazo, justificada con la baja remuneración salarial presentada en la mayoría de las universidades colombianas, han contribuido a que esta opción académica se fortalezca. Los profesionales que optan por esta opción lo hacen principalmente por diversas razones entre las que se tienen: (1) se puede seguir trabajando, sin necesidad de requerir licencia de estudios, (2) la aceptación, evaluación, y estudios son considerablemente más flexibles, (3) se tiene una mínima disrupción en la vida cotidiana, en especial, en lo relacionado al ámbito personal, familiar y profesional, (4) se tiene un costo significativamente menor, comparado con las opciones presenciales nacionales o internacionales. Al mismo tiempo, la relación costo-beneficio es más atractiva, puesto que se involucra una inversión menor, y los beneficios salariales son idénticos comparados con las opciones presenciales nacionales e internacionales de calidad. Lo anterior siempre y cuando el diploma sea convalidado, en caso de que el diploma provenga del exterior. Lo anterior, permitirá encontrar el punto de equilibrio de la inversión en un menor tiempo, (5) baja tasa de acceso a la oferta presencial nacional e internacional, y (6) presunción de titulación universal; al respecto, en Colombia en especial, es común que los egresados de programas doctorales de todo tipo, se autodenominen con el mismo título "Ph.D" y que esta información aparezca consignada en los perfiles académicos en algunas de las páginas web oficiales de las universidades colombianas. Con lo anterior, faltando a la verdad puesto que exhiben a la comunidad académica y público en general una titulación, de reconocida valía y respeto internacional ("Ph.D"), titulación que en la mayoría de casos, no les ha sido conferida.

Referente a lo anterior, es conveniente precisar que por definición universal, el título de cualquier profesional corresponde al título que le fue conferido por la universidad y que se encuentra consignado en el diploma o acta de grado respectiva. Uno de los títulos más prestigiosos y de reconocimiento es el de Doctor of Philosophy, conocido en siglas como "Ph.D" o "PhD", es un tipo de doctorado entregado principalmente por el sistema universitario anglosajón y el cual se puede obtener en diversas áreas del conocimiento, después de cumplir con una rigurosidad académica e investigativa, que se traducen el aporte innovador al

conocimiento. En la actualidad, no se entienden claramente las razones que justifiquen el por qué cientos de profesionales radicados en Colombia, que (i) adelantaron sus estudios doctorales (en Colombia o Latinoamérica, mediante modalidad presencial, semi-presencial, o virtual), (ii) se les confirió un diploma diferente, por ejemplo, Doctor en Educación, Doctor en Historia, Doctor en Derecho, Doctor en Ingeniería, Doctor en Teología, etc.), y (iii) sus estudios se adelantaron por medio de seminarios, conferencias, y sistemas laxos de evaluación, impartidos en idioma español; todos los anteriores, terminen atribuyéndose otra titulación, y en otro idioma “Doctor of Philosophy”, específicamente “Ph.D”. Lo cierto es que las ofertas académicas de baja calidad se han vuelto tan comunes, que incluso personal administrativo de las universidades han optado por obtener este tipo de titulación doctoral para mejorar sus perspectivas laborales y salariales. Por otra parte, a pesar que el usar incorrectamente o inapropiadamente una titulación que no se ha obtenido va en contra de la ley Colombiana [25,26], este tipo de errores son cada vez más recurrentes en las páginas oficiales de las universidades, eventos académicos, administrativos y culturales sin que se evidencie un control o regulación eficiente al respecto en Colombia. Todo esto contribuye a devaluar y popularizar el título de “Ph.D”, un título académico de marcado reconocimiento y prestigio al mismo tiempo que estimula la escogencia del “atajo académico”.

Tabla 2.  
Comparación programa de doctoral acreditado internacional versus programa semi-presencial online internacional.

Característica/titulación	Ph.D	Doctorado
Modalidad	Presencial	Flexible (semi-presencial, online)
Fundación Universidad	Mayor a 100 años	Menor a 15 años.
Ranking nacional	Entre los mejores 10	No registra ranking nacional, ni estatal.
Requisitos de ingreso	Hoja de vida	Hoja de vida
	Exámenes de Ingreso (GRE, TOEFL)	-
	Ensayo de candidatura	-
Requisitos de grado	Aprobar cursos tomados	Realizar trabajos asignados.
	Aprobar el examen de clasificación	Asistencia a los seminarios.
	Aprobar el examen de Candidatura	Realizar trabajo de grado.
	Aprobar el examen final (disertación)	
Duración	Incierta (aprox. 5 años)	2 años si se tiene maestría
		3 años sin maestría
Disrupción de la vida cotidiana durante estudios	Total	mínima
Costo relativo a un PhD	100%	(5-10)%
Esfuerzo requerido (max,min)	(100,80)%	(10,5)%
Puntos a recibir en convocatorias docente (max,min)	(30,20)%	(30,20)%
Existe diferencia en asignación salarial?	No	No
Convalidación aprobada en Colombia?	Si	Si

Fuente: El autor.

A manera de ilustración, la Tabla 2 presenta un paralelo entre un programa doctoral internacional que otorga el título de Doctor of Philosophy (Ph.D) y un programa semi-presencial, online ofertado en un país Latinoamericano. Los programas se seleccionaron con el criterio de contar con egresados de ambos programas con resolución aprobada de convalidación otorgada por el Ministerio de Educación Nacional de Colombia. Es preciso aclarar que, el proceso de convalidación es un trámite administrativo por el cual se reconoce en Colombia titulaciones obtenidas en el exterior mediante un acto administrativo que expresa su equivalencia en el territorio colombiano. Al analizar la Tabla 2, resulta evidente la diferencia significativa en términos de procesos de admisión, exigencia, respaldo institucional, seriedad, costo económico, y sacrificio; sin embargo, para efectos prácticos, ambos egresados recibirán el mismo puntaje, por concepto de formación académica para efectos salariales en cualquier universidad en Colombia, sin mencionar, el hecho de que los egresados de programas semi-presenciales online internacional y otros continúen autodenominándose imprecisamente en Colombia como “Ph.D”.

Es pertinente aclarar que un egresado de un programa doctoral de calidad nacional o internacional tuvo principalmente que: (1) incurrir en un préstamo importante de recursos económicos (entre 250 y 500 millones de pesos, aproximadamente [24]) y asumir los intereses generados por este capital desde su desembolso hasta el momento en que se realice el pago, (2) dedicarse de tiempo completo a este objetivo, por lo que en la mayoría de casos, involucró el no laborar durante el periodo de estudios, (3) enfrentar la incertidumbre sobre la culminación exitosa del programa dentro del plazo programado, y manejar niveles elevados de presión y frustración en el proceso de construir nuevo conocimiento, (4) desempeñarse competentemente en un entorno altamente competitivo y globalizado, (5) descuidar temas familiares, personales, de salud, para llevar a buen término el objetivo trazado y (6) renunciar a posibilidades laborales en el exterior, con el fin de responder con los compromisos previamente adquiridos y aceptados con el(los) otorgante(s) del préstamo. Luego no existe coherencia en el trato igualitario en las condiciones, comparado con los profesionales que han realizado estudios online o semi-presenciales nacionales o internacionales y todo lo anterior ayuda a explicar el déficit de profesionales en el área estructural en programas de Ingeniería Civil.

Teniendo en cuenta todo lo expresado anteriormente, la combinación de demanda centralizada, baja oferta de programas de calidad nacionales en el área específica del conocimiento, costos elevados de las ofertas académicas de calidad nacionales e internacionales, condiciones de inequidad, falta de regulación por parte de las entidades competentes, entre otros, han contribuido a que profesionales con formación en Ingeniería Civil se estanquen en sus áreas de especialidad o cambien de área de conocimiento o simplemente accedan a ofertas académicas de baja calidad y poca rigurosidad académica accediendo a la creciente oferta online o semi-presencial provenientes, principalmente, de países hispanohablantes. A través de este documento se ha demostrado

que el área estructural tiene, no solo un papel vital dentro del programa académico en Ingeniería Civil, sino esta área del conocimiento tiene una responsabilidad sustancial con la comunidad puesto que de esta dependen vidas humanas, a igual que la seguridad e integridad de las ciudades. Por lo tanto, en un país con una elevada amenaza y vulnerabilidad como Colombia, no se puede delegar su instrucción a docentes con formación académica diferente al área estructural y se debe estimular la formación doctoral en programas de alto nivel nacionales e internacionales para que mediante la investigación, desarrollo e innovación formulen propuestas eficaces que contribuyan a mitigar los devastadores efectos de sismos en la infraestructura Colombiana en el futuro.

## 5. Conclusiones

En un programa de Ingeniería Civil, el área estructural es de vital importancia, de ella dependen vidas humanas, al mismo tiempo, con una aplicación competente en esta área se pueden salvar vidas. Colombia es un país que exhibe un elevado riesgo sísmico y posee una vulnerabilidad sísmica alta de sus edificaciones. Se estima que el 90% de sus habitantes viven en zonas de amenaza sísmica alta o intermedia, lamentablemente su infraestructura no es consecuente con esta realidad. Un porcentaje importante de las edificaciones colombianas requieren algún tipo de intervención estructural para garantizar un adecuado desempeño en un evento sísmico. Por lo anterior se requiere que se entienda la importancia del área estructural y no se delegue irresponsablemente la enseñanza de esta área a profesionales especializados en otras áreas del conocimiento. Por otra parte, es necesario que desde las universidades, profesionales con formación en el área estructural propongan, evalúen y validen estrategias eficientes de reforzamiento estructural, consistentes con la adecuada representación de la amenaza sísmica y que puedan ayudar a disminuir la pérdida potencial de vidas humanas ante un eventual movimiento sísmico en el futuro.

El ranking de programas de ingeniería en Colombia usado en este documento sirvió para analizar discretamente la situación del área estructural en tres (3) programas de Ingeniería Civil que cuentan con acreditación otorgada por parte del CNA y que ocupan diferentes posiciones dentro del ranking seleccionado en este documento. Se identificó que el factor más relevante dentro de estos programas es el factor humano. Se evidenció que existe un bajo porcentaje de docentes con formación doctoral en el área estructural en Colombia. Únicamente la universidad 1 presenta un 50% de sus docentes con formación doctoral en esta área del conocimiento. Adicionalmente, el modelo de la universidad 1 presenta un adecuado balance, entre docentes altamente capacitados y formados en las mejores instituciones a nivel internacional, y una apropiada investigación soportada por laboratorios robustos y suficientes fondos de investigación. Lamentablemente existe un contraste significativo entre el modelo de esta Universidad con el grueso de Facultades de Ingeniería Civil en Colombia.

Las Universidades y los programas académicos en Colombia, en general, deben avanzar en el proceso de autoevaluación, mejoramiento continuo y autorregulación de

sus programas de pregrado y posgrado. Se debe fomentar y apoyar la formación docente de calidad, ya sea nacional o internacional, y se debe ser consistente en los presupuestos de investigación y asignaciones salariales en proporción con la calidad y nivel de formación los docentes.

Debido a la importancia del área estructural en el programa de Ingeniería Civil en Colombia, es necesario motivar la formación de docentes en programas de posgrado de calidad nacional o internacional en estructuras. Al mismo tiempo, se requiere que se establezcan políticas nacionales que incentiven y garanticen la vinculación de estos docentes a los programas de Ingeniería Civil de todas las regiones del país, y de esta forma, se pueda descentralizar la oferta académica de calidad en un futuro cercano. Además, se debe propender por garantizar un trato igualitario y equitativo a los egresados de programas doctorales de calidad nacionales e internacionales; y que de esta forma, se contribuya a desacelerar (1) la creciente formación de docentes del área estructural en otras áreas del conocimiento y (2) el marcado acceso de docentes a opciones de formación de posgrados online o semi-presencial de calidad y rigurosidad académica discutibles.

Para finalizar, el panorama general y la importancia del área estructural en programas de Ingeniería Civil en Colombia fueron presentados. Se identificó que existe una elevada demanda de docentes con formación de calidad en estructuras. Por ejemplo, en la universidad 3, únicamente el 44% de sus docentes tienen formación específica en el área estructural y en términos generales, el 78% de los docentes adscritos al área estructural, cuentan con un grado de formación máximo como especialistas. Adicionalmente, la combinación de demanda centralizada, baja oferta de programas de calidad nacionales en el área específica del conocimiento, costos elevados de las ofertas académicas de calidad nacionales e internacionales, principalmente, han contribuido a que se presenten las dos tendencias ya reportadas y analizadas; resulta obvio que ambas tendencias son ineficaces en impulsar el desarrollo económico y social de Colombia a través de las actividades de ciencia tecnología e investigación que Colombia requiere, y más aun teniendo presente la elevada amenaza y vulnerabilidad sísmica de la infraestructura colombiana. Por otra parte, es bien sabido que el conocimiento cambia continuamente, y por tanto se requiere una adecuada profundización en cada área del conocimiento en Ingeniería Civil, con la finalidad de eliminar los conocimientos obsoletos y en desuso que, actualmente, se continúan presentando en algunos programas académicos de Ingeniería Civil en el área estructural. Basado en la memoria histórica de Colombia, es necesario tener presente que el camino corto no es, ni será una solución a ninguna problemática, incluyendo la formación profesional. Todo lo anterior, ayuda a explicar el déficit de profesionales con formación doctoral de calidad en el área estructural y que también puede ser aplicable a otras áreas del conocimiento.

## Referencias

- [1] Holzer, T.L. and Savage, J.C., Global earthquake fatalities and population, *Earthquake Spectra*, 29, pp. 155-175, 2013.
- [2] AIS 2009, Estudio general de amenaza sísmica de Colombia 2009, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá, AIS, 2009.

- [3] García, L.E. and Sarria, A., Popayan, Colombia earthquake of March 31, 1983, Engineering Aspects (Preliminary Report), Earthquake Engineering Research Institute (EERI), Palo Alto, Ca. 1983.
- [4] García, L.E., The January 25, 1999, Earthquake in the coffee growing region of Colombia: Accelerographic records, structural response and damage, and code compliance and enforcement, 12 WCEE 2000: 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2809, 2000.
- [5] Sánchez-Silva, M., Yamin, L.E. and Caicedo, B., Lessons of the 25 January 1999 earthquake in central Colombia, Earthquake Spectra, 16, pp. 493-510, 2000.
- [6] Salinas, D.R., Nonlinear truss analysis of non-ductile reinforced concrete frames with unreinforced masonry infills, Dissertation/Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, Virginia, USA, 2016.
- [7] Pujol, S., Ramirez, J.A. and Sarria, A., Behavior of low-rise reinforced concrete buildings, Concrete International, 22, pp. 40-44, 2000.
- [8] Prieto, G., Beroza, G., Barrett, S., López, G. and Florez, M., Earthquake nests as natural laboratories for the study of intermediate-depth earthquake mechanics, Tectonophysics, 570, pp. 42-56, 2012. DOI: 10.1016/j.tecto.2012.07.019.
- [9] Taboada, A., Rivera, L.A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J. and Rivera, C., Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia), Tectonics, 19, pp. 787-813, 2000.
- [10] DANE, Censo general 2005-2006, Departamento Nacional de Estadística DANE, 2006.
- [11] NSR 2010, El reglamento colombiano de construcción sísmo resistente (NSR-10), Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá, AIS, 2010.
- [12] AIS 100, Requisitos sísmicos para edificios-Norma AIS 100-81, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá, AIS, 1981.
- [13] SEAOC, Basic design criteria of the recommended lateral force requirements and commentary, Journal of the Structural Division, 98, pp. 1913-1922, 1974.
- [14] ATC 3-06, Review and refinement of ATC 3-06 tentative seismic provisions, Report of Technical Committee 9: Regulatory Use, 1980.
- [15] García, L.E., Development of the Colombian seismic code, Proceedings of the Eight World Conference on Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute (EERI), San Francisco, Ca., USA, 1984.
- [16] DEPAE. & JICA, Estudio para la prevención de desastres en el área metropolitana de Bogotá, en la República de Colombia, 2002.
- [17] García, L.E. Seismology and earthquake engineering in Colombia. En: Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres EIRD.org doc4558.
- [18] Red Sismológica Nacional de Colombia. (RNAC) Disponible en: <http://seisan.sgc.gov.co/RSNC>
- [19] Petroski, H., To forgive design: Understanding failure, Harvard University Press. ISBN-13:978-0674065840, 2014.
- [20] Ranking de las mejores universidades de Colombia en 2017. [en línea]. [consultado en: 25 de mayo del 2017]. Disponible en: [www.dinero.com](http://www.dinero.com).
- [21] Soto-Arango, D.E., Los doctorados en Colombia. Un camino hacia la transformación universitaria, Revista Historia de la Educación Latinoamericana, 12(9), pp. 152-195, 2009.
- [22] [www.dinero.com](http://www.dinero.com) ¿Cuántos doctores gradúa Colombia en comparación con el resto del mundo?. Educación [en línea]. [consultado en: marzo 15 de 2017] Disponible en: <http://www.dinero.com/economia/articulo/graduados-de-doctorado-en-colombia-y-el-resto-del-mundo/242911>
- [23] Departamento Nacional de Planeación de Colombia, Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, Todos por un nuevo país, ISBN 978-958-8340-88-3, 2015.
- [24] El Espectador.com., El precio de estudiar un doctorado en Colombia Educación. [en línea]. [Consultado en: 25 Feb 2017]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/educacion/el-precio-de-estudiar-un-doctorado-en-colombia-articulo-681786>
- [25] Congreso de Colombia, Ley 30 de diciembre 28 de 1992.
- [26] Ministerio de Educación Nacional de Colombia, Decreto 1075 del 26 de mayo de 2015.

**D.R. Salinas-Guayacundo**, es Ing. Civil de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) en Tunja, Colombia en 2003, MSc. en Ing. Civil, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia en 2006 y Dr. of Philosophy (PhD) en Ingeniería Civil (Estructuras) en 2016, del Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, Virginia, USA. De 2006 a 2011 orientó cursos de pregrado y posgrado en Universidades de Colombia; y ejerció actividades de consultoría en proyectos de reforzamiento sísmico en Colombia. De agosto del 2007 a junio del 2008 fue invitado por la Universidad Hampden-Sydney College, en Virginia, USA. Entre los años 2011 y 2016 fue asistente graduado de investigación (GRA), dentro del Structural Engineering and Materials, del Virginia Tech. Desde agosto del 2017 se desempeña como docente catedrático del programa Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, Colombia. Adicionalmente, es profesor de posgrados en la Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia. Sus intereses investigativos incluyen: análisis no lineal de pórticos de concreto reforzado, con o sin la presencia de muros de mampostería, sistemas estructurales en acero, concreto y mampostería estructural, ingeniería sísmica, dinámica estructural, diseño basado desempeño, análisis estructural lineal o no lineal usando elementos finitos.

ORCID: 0000-0002-1257-5747

# Una propuesta de aula invertida en la asignatura de señales y sistemas de la Universidad Nacional de Colombia

Ana María Reyes-Parra, Mario Julián Cañón-Ayala & Fredy Andrés Olarte-Dussan

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. [amreyesp@unal.edu.co](mailto:amreyesp@unal.edu.co), [mjcanona@unal.edu.co](mailto:mjcanona@unal.edu.co), [faolarted@unal.edu.co](mailto:faolarted@unal.edu.co)

**Resumen**— La estrategia de aula invertida ha tomado fuerza durante la última década debido a la integración de nuevas tecnologías en el ámbito educativo, facilitando el desarrollo de procesos de aprendizaje auto-regulado y de aprendizaje activo en las aulas. Teniendo en cuenta las ventajas de esta metodología, se diseñó una estrategia basada en el aula invertida para abordar el tema de “convolución” en la asignatura de Señales y Sistemas I de la Universidad Nacional de Colombia. La estrategia fue implementada con 90 estudiantes, quienes reportaron sus percepciones acerca de la estrategia propuesta a través de una encuesta. Los resultados muestran una percepción positiva en relación a la metodología y los recursos educativos propuestos. No obstante, se identificaron en algunos casos sugerencias de mejora asociadas a los recursos educativos y aspectos operativos.

**Palabras Clave**— Aula invertida; ingeniería; convolución; recursos educativos digitales; percepciones estudiantiles.

Recibido para revisar octubre 18 de 2017, aceptado Noviembre 16 de 2017, versión final Noviembre 23 de 2017

## A flipped classroom approach in the signals and systems course of the Universidad Nacional de Colombia

**Abstract**—The integration of new technologies in the educational field have strengthened the development of new pedagogical strategies such as the flipped classroom, in which self-regulated and active learning are fostered. Considering the advantages of this methodology, a strategy based on the flipped classroom was designed to develop the “convolution” topic in the subject of Signals and Systems I of the Universidad Nacional de Colombia. The strategy was implemented with 90 students. After the strategy implementation, students reported their perceptions towards the flipped classroom methodology and the educational resources proposed to support the strategy development. According to the results, students had an overall positive perception in relation to the methodology and the educational resources proposed. However, suggestions for improvement of the educational resources and considerations about logistic elements, were made by some students.

**Keywords**— Flipped classroom; engineer; convolution; digital educational resources; students perceptions.

## 1. Introducción

El aula invertida se considera una propuesta pedagógica útil para abordar contenidos de cursos de manera autónoma por parte de los estudiantes y aprovechar el tiempo de clase para reforzar los conceptos de manera activa a través de actividades que involucran el trabajo colaborativo y la resolución de problemas [1,2]. La estrategia de aula invertida ha tomado

fuerza durante la última década debido a la integración de nuevas tecnologías en el ámbito educativo [3], facilitando entre otros elementos, el desarrollo de procesos de aprendizaje auto-regulado a través del acceso a contenidos digitales online [2]. A diferencia de otras metodologías de enseñanza y aprendizaje online, el aula invertida incluye tiempo de interacción presencial con el docente y otros estudiantes, para discutir y aplicar los conceptos estudiados de manera autónoma por el estudiante [2].

El uso del aula invertida en ingeniería ha sido incentivado por el desarrollo de nuevas tecnologías y herramientas pedagógicas en el aula [4]. Desde el punto de vista tecnológico, los contenidos pueden ser visualizados a través de internet e inclusive no es necesario pagar por acceder a la información. Por ejemplo, a inicios de la década del 2000, el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) implementó la plataforma *OpenCourseWare* en la que actualmente se ofrecen cursos en ingeniería como el de señales y sistemas. Por otra parte, la metodología del aula invertida hace parte de la evolución de otras corrientes en las que se destaca el uso del aprendizaje activo y el aprendizaje basado en proyectos en ingeniería [4,5]. En general, la percepción de los estudiantes de ingeniería es positiva hacia el uso del aula invertida prefiriendo las actividades de aprendizaje activo en el aula y el uso de recursos de manera autónoma, aunque en ocasiones, algunos estudiantes reportan dificultades de aprendizaje ya que están acostumbrados a recibir explicaciones de parte de un docente de manera personal [4].

Durante la segunda década del siglo XXI se ha incrementado de manera significativa la implementación del aula invertida aplicada a cursos de ingeniería. Uno de los indicadores que permite evidenciar esta tendencia es la cantidad de publicaciones relacionadas con experiencias de aula invertida en ingeniería. De esta manera, se reporta que se pasaron de una a 33 publicaciones al año, entre el 2010 y el 2014 [6]. Esta metodología ha sido aplicada en cursos de ingeniería de software, cálculo, ingeniería biomédica y programación en las que se establece una estructura general con tres momentos: 1. actividades previas a la sesión presencial utilizando recursos multimedia como videos, grabaciones,

**Como citar este artículo:** Reyes-Parra, A.M., Cañón-Ayala, M.J. and Olarte-Dussan, F.A., Una propuesta de aula invertida en la asignatura de señales y sistemas de la Universidad Nacional de Colombia. *Educación en Ingeniería*, 13(25), pp. 82-87, Febrero, 2018.

sitios web, entre otros. 2. actividades de realimentación previas a la sesión presencial como cuestionarios y preguntas en clase. 3. Sesiones presenciales en el que se utiliza la metodología de aprendizaje activo mediante laboratorios, discusiones de problemas aplicados y teóricos, y proyectos colaborativos [7-9]. Dentro de estas implementaciones, la evaluación de los resultados se realiza mediante encuestas, cuyos resultados muestran que en general, los estudiantes de ingeniería prefieren esta metodología al aprendizaje centrado en el docente ya que les permite tener una mayor participación durante las sesiones grupales. Por otro lado, el aula invertida y el aprendizaje activo también han sido aplicados a cursos de señales y sistemas en cursos de pregrado y posgrado [5,10,11].

En esta línea, es importante resaltar la experiencia de Fowler en la Universidad de Binghamton quien implementó el aula invertida en estudiantes de pregrado y realizó una evaluación de acuerdo con encuestas y a la comparación de las calificaciones obtenidas en los exámenes de finales de cursos anteriores donde no se utilizaba el aula invertida [5]. La estructura general de las clases iniciaba con un vídeo que tenía por objetivo entregar una explicación de todas las temáticas a tratar más allá de hacer énfasis en la calidad visual del video. Durante la clase, Fowler aplica un cuestionario previo mediante la aplicación *iClicker* que es la herramienta de realimentación del trabajo realizado por los estudiantes. Finalmente, en las clases se dejan problemas a desarrollar por los estudiantes en el que algunos corresponden a aplicaciones de la teoría en códigos de ejemplo que tiene *Matlab*® y al final de la clase, las respuestas y explicaciones son compartidas online por el profesor y los asistentes docentes. Los resultados de esta implementación muestran una acogida de la metodología, aunque existen aspectos por mejorar en cuanto a la formación de conceptos teóricos de los estudiantes ya que el promedio de calificación obtenida en el examen final del curso con aula invertida es inferior al que se obtuvo en el año anterior sin utilizar esta metodología.

Teniendo en cuenta las ventajas que tiene el aula invertida al incorporar tecnologías de la información, posibilitar el aprendizaje autónomo y generar actividades en clase orientadas a generar una mayor apropiación de conceptos por parte de los estudiantes, se implementó esta metodología para abordar uno de los contenidos de la asignatura de Señales y Sistemas I de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia. En las siguientes secciones de este artículo se presentan algunas generalidades de la asignatura de Señales y Sistemas I, la nueva metodología propuesta para abordar el concepto de convolución en la asignatura, las características asociadas al diseño de una encuesta para identificar la percepción de los estudiantes en relación a la nueva estrategia implementada, los resultados de aplicación de este instrumento, el análisis de las percepciones de los estudiantes y las conclusiones asociadas a la experiencia de integración de la estrategia del aula invertida en el curso Señales y Sistemas I.

## 2. Metodología

### 2.1. Clase tradicional

La asignatura de Señales y Sistemas I de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia - Sede

Bogotá, está orientada a estudiantes de semestres intermedios y finales de los programas curriculares de Ingeniería mecánica, mecatrónica, eléctrica y electrónica. En la asignatura se aplican conceptos matemáticos para el análisis de señales y sistemas, abordando temas tales como: tipos y propiedades de señales y sistemas, caracterización de sistemas lineales e invariantes en el tiempo, análisis de señales en el dominio de la frecuencia a través de la serie y transformada de Fourier, análisis de señales y sistemas utilizando la transformada de Laplace y Z, introducción al análisis de sistemas dinámicos lineales y conceptos básicos del muestreo. Tradicionalmente, la metodología para abordar los contenidos de la asignatura integra dos tipos de sesiones: sesiones magistrales (2 horas semanales) y sesiones de taller (2 horas semanales). Durante las sesiones magistrales se presentan los conceptos y elementos teóricos asociados a una temática en particular, mientras que en las sesiones de taller, se resuelven problemas y se desarrollan ejercicios relacionados con los conceptos presentados previamente en la sesión magistral.

Pese a que esta metodología es apropiada para abordar la mayoría de temáticas y contenidos de esta asignatura, hay algunos conceptos que parecen ser difíciles de asimilar por los estudiantes a través de la presentación magistral realizada por el docente. Este es el caso particular de la temática de convolución, una operación matemática que en el marco de la presente asignatura se emplea para encontrar la respuesta o salida de un sistema (lineal e invariante en el tiempo) para una determinada señal de entrada. A lo largo de diferentes cohortes del curso se ha percibido que el tiempo de la sesión magistral es insuficiente para que los estudiantes comprendan el procedimiento analítico al aplicar la operación de convolución entre señales y en particular, para que entiendan la aplicación de este concepto en el contexto de los sistemas y las señales. Considerando estas limitaciones, se propuso implementar una estrategia de aula invertida para abordar la temática de convolución en el marco de la asignatura de Señales y Sistemas I de la Universidad Nacional de Colombia.

### 2.2. Aula invertida en la asignatura Señales y Sistemas I

La estrategia didáctica del aula invertida permite entre otros elementos aprovechar el tiempo en aula para contextualizar los conceptos teóricos que han sido revisados autónomamente de manera previa por los estudiantes. De esta manera, en el marco de la asignatura Señales y Sistemas I, se modificó la metodología de una de las sesiones magistrales integrando la estrategia de aula invertida con el fin de generar aprendizajes significativos en torno al concepto de convolución.

Con la nueva estrategia planteada, los conceptos que usualmente se presentaban durante la sesión magistral fueron abordados de manera independiente por los estudiantes a través de vídeos y otros recursos educativos digitales sugeridos por los docentes de la asignatura. Esta revisión se propuso para ser realizada por los estudiantes antes de la sesión magistral.

De esta manera, el tiempo de la sesión magistral se aprovechó para realizar actividades en las que se evidenciaba la aplicación práctica del concepto de convolución a una problemática real. En particular, se propuso a los estudiantes



trabajar en equipo para tratar de simular la reproducción de una determinada señal de audio en diferentes recintos que habían sido caracterizados acústicamente previamente. La resolución de este problema (¿cómo suena una señal de audio en diferentes recintos?) implica la aplicación del concepto de convolución para encontrar la salida de un determinado sistema que se encuentra caracterizado por la respuesta al impulso. Durante la sesión se formulaban una serie de preguntas por parte de los docentes, que permitían orientar el trabajo de los estudiantes en el proceso de encontrar la solución a la problemática planteada. Asimismo, para esta sesión en particular se contó con el acompañamiento de docentes auxiliares que junto con el docente responsable de la magistral, interactuaban constantemente con los diferentes equipos de trabajo para resolver inquietudes y orientar a los estudiantes en la aplicación de los conceptos que enmarcaban el problema planteado.

### 2.3. Identificación de percepciones de los estudiantes acerca de la nueva metodología propuesta

Para la implementación de la estrategia de aula invertida, los docentes seleccionaron el conjunto de recursos educativos digitales (presentaciones y vídeos) para que los estudiantes los revisaran de manera autónoma. Asimismo, se prepararon los materiales de simulación necesarios para el desarrollo de la actividad práctica durante la sesión presencial.

Adicionalmente, con el fin de identificar la percepción de los estudiantes respecto a la nueva estrategia propuesta, se diseñó y aplicó una encuesta para ser diligenciada al final de la sesión presencial destinada al desarrollo de la actividad práctica. La encuesta se construyó considerando variables tales como recursos educativos propuestos (vídeos, presentaciones y lecturas relacionadas con el tema de convolución), metodología (estrategia del aula invertida) y aspectos operativos (tiempo disponible e instrucciones dadas para el desarrollo de actividades).

A partir de estos elementos se construyó una encuesta compuesta por 12 ítems para ser evaluados por los estudiantes a través de una escala Likert de cinco niveles: “Totalmente en desacuerdo”, “En desacuerdo”, “Ni en acuerdo o desacuerdo”, “De acuerdo” y “Totalmente en acuerdo”. En la sección final de la encuesta, se incluyeron dos preguntas abiertas para recopilar comentarios adicionales de los estudiantes sobre la metodología y recursos propuestos para abordar la temática de convolución.

### 3. Resultados

La variación metodológica propuesta para abordar la temática de convolución fue implementada con tres cursos de la asignatura Señales y Sistemas I durante el primer semestre de 2017. Los estudiantes que participaron en la implementación de esta estrategia en su mayoría eran hombres (92,22%) y se encontraban entre el cuarto y séptimo semestre académico (82%). De igual manera, cerca del 37% de los estudiantes pertenecían al programa curricular de ingeniería eléctrica, el 27% a ingeniería mecatrónica, el 25% a ingeniería mecánica y el 11% a ingeniería electrónica.

La encuesta propuesta para identificar las percepciones de los estudiantes sobre la nueva estrategia propuesta fue diligenciada por 90 estudiantes. Para analizar los resultados obtenidos tras la aplicación de la encuesta, se realizó un proceso de recodificación de variables para obtener un a escala numérica asociada a los diferentes niveles de la escala Likert (“Totalmente en desacuerdo”=1, “En desacuerdo”=2, “Ni en acuerdo o desacuerdo”=3, “De acuerdo”=4, “Totalmente en acuerdo”=5). De esta manera, un ítem evaluado con un valor cercano a cinco indica que el estudiante tiene una percepción positiva hacia las variables incluidas en el enunciado, mientras que un valor cercano a uno indica una percepción negativa por parte del estudiante.

En la Tabla 1 se muestran los resultados de aplicación de la encuesta de percepciones. En particular, se presentan los promedios asociados a la valoración asignada a cada ítem junto con la desviación estándar.

Los resultados presentados en la Tabla 1 indican que la mayoría de estudiantes consideraron que la actividad práctica propuesta les ayudó a entender mejor el concepto de convolución y que las actividades preparatorias -previas a la sesión presencial- fueron

Tabla 1  
Promedio y desviación estándar asociada a los ítems de la encuesta

Ítem	Promedio	Desv. Estándar
1. Las instrucciones dadas para el desarrollo del ejercicio práctico y las actividades preparatorias, fueron claras y suficientes.	3,68	0,92
2. A través de los recursos propuestos (vídeos y presentaciones) pude entender fácilmente el concepto de Convolución.	3,7	0,9
3. Me gustó la metodología propuesta (revisión teórica previa y trabajo práctico en la sesión presencial) para abordar el tema de Convolución.	4,06	0,87
4. La Convolución es un concepto útil para mi práctica profesional.	4,07	0,84
5. Requerí consultar algunos recursos adicionales a los propuestos por parte del docente (vídeos y presentaciones) para entender el concepto de Convolución.	3,94	0,95
6. Considero que las actividades de preparación fueron fundamentales para desarrollar el ejercicio propuesto durante la sesión.	4,11	0,83
7. Me gustaron los recursos propuestos (vídeos y presentaciones) para abordar la temática de Convolución.	3,94	0,88
8. Mi percepción a cerca de la utilidad del concepto de Convolución cambió tras realizar la actividad práctica propuesta.	3,97	1,04
9. La actividad práctica propuesta me ayudó a entender mejor el concepto de Convolución.	4,27	0,74
10. Me parece una buena idea revisar los elementos teóricos por mi cuenta y aprovechar el tiempo de la sesión para desarrollar actividades prácticas que involucren el concepto.	4,18	0,74
11. Los recursos propuestos (vídeos y presentaciones) son útiles para entender el concepto de Convolución.	4,07	0,80
12. El tiempo durante la sesión presencial fue suficiente para el desarrollo de la actividad práctica.	3,38	1,16

Fuente: Los autores.

Tabla 2  
Promedio y desviación estándar asociada a los ítems de la encuesta agrupados por categoría de análisis

Categoría	Ítems Categoría	Promedio	Desv. Estándar
Recursos educativos	2, 5, 7, 11	3,91	0,88
Metodología	3, 6, 10, 9, 4, 8	4,11	0,84
Aspectos operativos	1, 12	3,53	1,04

Fuente: Los autores.

fundamentales para desarrollar el ejercicio práctico (ítems 9 y 6). Asimismo, a los estudiantes les gustó la metodología propuesta para abordar el concepto de convolución y les pareció una buena idea revisar los elementos teóricos por su cuenta para aprovechar el tiempo de la sesión desarrollando actividades en las que se aplicaran los conceptos aprendidos (ítems 3 y 10). De otro lado, los estudiantes reportaron una percepción menos positiva en relación al tiempo disponible durante la sesión para el desarrollo de la actividad práctica y a las orientaciones dadas para realizar las actividades preparatorias y la actividad práctica durante la sesión presencial (ítems 1 y 12).

Estos hallazgos son consistentes con los mostrados en la Tabla 2, en la que se presentan los resultados de la encuesta agrupados en las categorías consideradas para el diseño del instrumento: recursos educativos, metodología y aspectos operativos. Como se puede observar en esta tabla, los ítems asociados a la categoría de metodología fueron los mejor evaluados por parte de los estudiantes, mientras que los relacionados con los aspectos operativos presentan los promedios más bajos.

Por otra parte, cabe resaltar que aunque los promedios de los diferentes ítems y categorías (Tablas 1 y 2) muestran una tendencia hacia una percepción positiva respecto a los elementos que integran la nueva estrategia propuesta, los valores de las desviaciones estándar indican variaciones en las percepciones de los diferentes estudiantes que diligenciaron la encuesta.

Con el fin de identificar posibles causas de estas variaciones en las percepciones de los estudiantes y profundizar sobre los hallazgos cuantitativos, se analizaron los comentarios adicionales incluidos por parte de los estudiantes al final de la encuesta. En términos generales, los comentarios realizados se pueden enmarcar en las categorías propuestas para la construcción de la encuesta y posterior análisis de los resultados: recursos educativos, metodología y aspectos operativos.

Una proporción considerable (62%) de los comentarios realizados en relación a los recursos educativos indican la necesidad de mejorar los recursos propuestos para abordar el concepto de convolución. Estos comentarios hacen alusión principalmente a la dificultad de entender el concepto presentado en un vídeo en inglés y la necesidad de incluir dentro del material de apoyo recursos relacionados con la herramienta de simulación propuesta para desarrollar la actividad práctica. De otro lado, cerca de un 38% de los comentarios realizados resaltan aspectos positivos en relación a los vídeos y presentaciones sugeridas para abordar el concepto de convolución. En algunos de estos comentarios inclusive se

reporta como un acierto la propuesta de incentivar la consulta de recursos en inglés.

Respecto a la metodología propuesta, en la mayoría de comentarios realizados (73%) se destaca que la nueva estrategia es apropiada para abordar el tema de convolución (favoreciendo una aproximación al concepto a través de una aplicación práctica) y que es conveniente destinar el tiempo de trabajo presencial para profundizar y aplicar los conceptos estudiados previamente por parte de los estudiantes. Adicionalmente, en algunos de estos comentarios los estudiantes resaltan que esta metodología les permite autorregular su proceso de aprendizaje. Por otra parte, en 27% de los comentarios relacionados con aspectos metodológicos se sugiere ajustar la estructura de la sesión presencial (durante la que se desarrolla la actividad práctica), destinando algunos minutos para resolver inquietudes sobre los elementos teóricos (al inicio de la sesión) y para hacer evidentes las relaciones entre el componente práctico y teórico (al final de la sesión).

Finalmente, en concordancia con los resultados cuantitativos reportados en las Tablas 1 y 2, todos los comentarios realizados respecto a los aspectos operativos (16 comentarios) reflejan que el tiempo para realizar la actividad práctica no es suficiente y que hace falta claridad en las instrucciones y orientaciones previas al desarrollo de la actividad durante la sesión presencial.

#### 4. Discusión

En general, los resultados muestran que la percepción de los estudiantes acerca de las actividades desarrolladas utilizando la metodología de aula invertida es positiva. Esto coincide con resultados reportados en otras experiencias semejantes. Por ejemplo, en el marco del presente estudio se encontró que los estudiantes identificaron algunos componentes de la metodología propuesta como elementos facilitadores para el entendimiento del concepto de convolución (ítem 9 de la Tabla 1), así como en el curso de señales y sistemas de la Universidad de Chalmers, donde los estudiantes expresaron que la metodología les permitió entender mejor los conceptos abordados en esta asignatura [11]. De manera semejante, en el curso de señales y sistemas de la Universidad de Binghamton, los estudiantes reportaron que el proceso de aprendizaje fue “mucho mejor” utilizando la metodología de aula invertida [5].

De otro lado, aunque se evidenció una tendencia positiva en las percepciones de los estudiantes hacia los recursos educativos propuestos para abordar los conceptos y elementos teóricos de manera autónoma en el marco de la metodología del aula invertida (ítems 2, 7 y 11 de la Tabla 1), algunos estudiantes manifestaron dificultades asociadas a la comprensión del concepto a través de los recursos propuestos. Estas dificultades podrían explicarse desde la perspectiva de los estilos de aprendizaje de los estudiantes. En particular, la prevalencia de un determinado estilo de aprendizaje en un estudiante podría dificultar la comprensión de un determinado concepto a través de contenidos o recursos con énfasis en elementos visuales o auditivos. Asimismo, estas dificultades pueden estar relacionadas con el hecho de que algunos estudiantes tienden a preferir explicaciones personales (que

involucran una interacción directa con el docente) sobre el uso de vídeos [4].

De igual manera, estos elementos se relacionan con procesos de autorregulación de aprendizaje. En algunos casos el aprendizaje autónomo fuera del salón de clases es un desafío para los estudiantes que son los responsables de su aprendizaje [6] y que hasta ahora están familiarizándose con nuevas metodologías de estudio. Los resultados cuantitativos y cualitativos presentados en este artículo muestran que en general los estudiantes consideran apropiado estudiar los elementos teóricos (asociados al concepto de convolución) por su cuenta y aprovechar el tiempo en aula para desarrollar actividades en las que se apliquen y contextualicen estos conceptos. Algunos estudiantes reportaron que esta metodología les permitía avanzar en el proceso de aprendizaje a su propio ritmo, además de considerar más significativo para su aprendizaje complementar este aspecto con el desarrollo de una actividad colaborativa en la que se aplicaba el concepto a una situación real. Este resultado concuerda con lo expresado por los estudiantes del profesor Fowler, quienes reportaron que la atención en clase es mayor con estrategias como la del aula invertida que con una metodología centrada en el docente [5].

Finalmente, los resultados obtenidos permitieron identificar que las variables relacionadas con aspectos operativos pueden llegar a ser determinantes en la implementación de la estrategia propuesta para abordar el concepto de convolución. De esta manera, para próximas implementaciones será necesario proponer diversos tipos de recursos educativos que se puedan ajustar a las preferencias de los diferentes estudiantes, garantizar que las instrucciones y orientaciones definidas para el desarrollo de las actividades son suficientes y claras, sugerir recursos adicionales para introducir aspectos relacionados con la herramienta de simulación propuesta para el desarrollo de la actividad práctica y destinar un tiempo de la sesión presencial para hacer evidente la articulación de los elementos teóricos y la actividad práctica.

## 5. Conclusiones

En el presente estudio se implementó una estrategia de aula invertida para abordar la temática de convolución en el marco de la asignatura de Señales y Sistemas I de la Universidad Nacional de Colombia. La mayoría de estudiantes que participaron en este proceso de implementación consideraron la metodología de aula invertida como una estrategia que les facilitó entender los elementos teóricos y aplicaciones prácticas del concepto de convolución.

Como parte de los resultados generados en esta experiencia, se evidenció que los recursos educativos propuestos para ser abordados de manera autónoma por los estudiantes pueden llegar a ser un factor determinante en la implementación de la estrategia de aula invertida. De esta manera, es importante que los recursos propuestos sean seleccionados considerando (en la medida de lo posible) los diversos estilos de aprendizaje y características de los estudiantes. Aunque es difícil que un sólo recurso educativo sea apropiado para todos los estudiantes, es posible sugerir una serie de recursos que en conjunto posibiliten la comprensión de los conceptos a través de diversas estrategias

y mecanismos de instrucción. De igual forma, en el marco de esta experiencia en la que la estrategia activa para la contextualización del concepto de convolución consistía en una actividad práctica desarrollada en una herramienta de simulación, es indispensable sugerir recursos educativos que familiaricen a los estudiantes con el uso de la herramienta.

Asimismo, aspectos operativos relacionados con las orientaciones para el desarrollo del trabajo autónomo por parte de los estudiantes y la actividad práctica en el aula, junto con el tiempo disponible para el desarrollo de la actividad presencial, son factores que incidieron en la percepción de los estudiantes acerca de la implementación de la estrategia de aula invertida. Estas variables, junto con la selección e inclusión de diversos tipos recursos educativos para abordar aspectos teóricos asociados al concepto de convolución y para familiarizar a los estudiantes con la herramienta de simulación propuesta para el desarrollo de la actividad práctica, constituyen algunos de los elementos que deberían considerarse en próximas implementaciones.

## Referencias

- [1] Gannod, G., Burge, J. and Helmick, M., Using the inverted classroom to teach software engineering, in Proc. Int. Conf. Softw. Eng., Leipzig, Germany, May 2008, pp. 777-786. DOI: 10.1145/1368088.1368198
- [2] Van-Veen, B., Flipping signal-processing instruction. IEEE Signal Processing Mag., 30(6), pp. 145-150, 2013. DOI: 10.1109/MSP.2013.2276650
- [3] Mason, G.S., Shuman, T.R. and Cook, K.E., Comparing the effectiveness of an inverted classroom to a traditional classroom in an upper-division engineering course. IEEE Trans. Educ., 56(4), pp. 430-435, 2013. DOI: 10.1109/TE.2013.2249066
- [4] Bishop, J.L. y Verleger, M.A., The flipped classroom: A survey of the research, 2013 ASEE Annual Conference & Exposition, Atlanta, Georgia, 2013, pp. 23.1200.1-23.1200.18.
- [5] Fowler, M.L., Flipping signals and systems — Course structure & results, 2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Florence, 2014, pp. 2219-2223. DOI: 10.1109/ICASSP.2014.6853993
- [6] Karabulut-Ilgü, A., Jaramillo, N. and Jahren, C.T., A systematic review of research on the flipped learning method in engineering education, British Journal of Educational Technology, 00(00), 2017. DOI: 10.1111/bjet.12548
- [7] Ankeny, C.J. and Krause, S.J., Flipped biomedical engineering classroom using pencasts and muddiest point Web-enabled tools, 121st ASEE Annual Conference and Exposition: 360 Degrees of Engineering Education - Indianapolis, IN, United States, 2014, pp. 24.614.1-24.614.17.
- [8] Jungic, V., Kaur, H., Mulholland, J. and Xin, C., On flipping the classroom in a large first year calculus courses, International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 46(4), pp 508-520, 2014. DOI: 10.1080/0020739X.2014.990529
- [9] Talbert, R., Learning MATLAB in the inverted classroom, 2012 ASEE Annual Conference & Exposition, San Antonio, Texas, 2012, pp. 25.883.1-25.883.19.
- [10] Buck, J.R. and Wage, K.E., Active and cooperative learning in signal processing courses, IEEE Signal Processing Magazine, 22(2), pp. 76-81, 2005. DOI: 10.1109/MSP.2005.1406489
- [11] Svensson, L. and Adawi, T., Designing and evaluating a flipped signals and systems course, Proceedings of the 14th European Conference on e-Learning – ECEL 2015, Hatfield, UK, 2015, pp. 584-591.

**A.M. Reyes-Parra**, es Ing. Electrónica (2011) y MSc. en Ingeniería - Automatización Industrial (2013) de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente es estudiante de doctorado en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia y docente ocasional del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la misma universidad.  
ORCID: 0000-0001-9128-8051

**M.J. Cañón-Ayala**, es Ing. Industrial de la Universidad Central (2012), MSc. en Ingeniería Automatización Industrial de la Universidad Nacional de Colombia (2015) y se ha desempeñado como profesor ocasional del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia.  
ORCID: 0000-0002-0181-3156

**F.A. Olarte-Dussan**, es Ing. Electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2005), MSc. en Ingeniería Automatización Industrial de la Universidad Nacional de Colombia (2007) y Dr. en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia (2011). Actualmente es profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia.  
ORCID: 0000-0001-8450-0691

# Percepciones de los estudiantes sobre el uso de los laboratorios virtuales en mecánica de suelos

Julio Esteban Colmenares <sup>a</sup>, Norma Rocio Héndez <sup>b</sup> & Jorge Celis-Giraldo <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia. [jecolmenaresm@unal.edu.co](mailto:jecolmenaresm@unal.edu.co)

<sup>b</sup> Grupo de Investigación STEM+B, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia. [nrhendezp@unal.edu.co](mailto:nrhendezp@unal.edu.co), [jecelisg@unal.edu.co](mailto:jecelisg@unal.edu.co)

**Resumen** - Este artículo muestra los resultados de adoptar laboratorios virtuales en la asignatura de mecánica de suelos en los pregrados de ingeniería civil e ingeniería agrícola en la Universidad Nacional de Colombia. Desde la perspectiva de los estudiantes, presenta de qué manera los laboratorios contribuyen a la comprensión y aplicación de conceptos en la solución de problemas relacionados con la mecánica de suelos. Se exploraron los resultados de la percepción de autoeficacia de los estudiantes así como de su percepción sobre los laboratorios virtuales en relación con las características socio-demográficas de los estudiantes. La evidencia recolectada sugiere que los estudiantes encuentran que los laboratorios contribuyen a potenciar sus habilidades de investigación, de análisis y conocimientos en mecánica de suelos. Los estudiantes que dedicaron mayor tiempo a la asignatura consideran que los laboratorios virtuales permiten desarrollar conceptos y habilidad de análisis y evalúan positivamente el trabajo con estos laboratorios.

**Palabras clave** - Laboratorios virtuales; mecánica de suelos; formación en ingeniería; aprendizaje basado en problemas

Recibido para revisar Octubre 22 de 2017, aceptado Noviembre 16 de 2017, versión final Noviembre 7 de 2017

## Perceptions of students about the use of virtual laboratories in soil mechanics

**Abstract** - This article presents the results of using virtual laboratories in the soil mechanics course. The course is part of the Civil and the Agricultural engineering curriculums at the Universidad Nacional de Colombia. From the students' point of view, the use of virtual laboratories contributes to the understanding and application of concepts in order to solve problems related to soil mechanics. The results of students' perception of self-efficacy are explored as well as their perception of virtual laboratories in relation to the socio-demographic characteristics of students. Evidence collected suggests that students find laboratories useful to improve their research and analytical skills and help to expand their knowledge about soil mechanics. High performance students, in the course, consider that the use of virtual laboratories is key to acquire engineering concepts and analytical skills. They assess as positive the use of virtual laboratories.

**Keywords** - Virtual laboratories; soil mechanics; engineering education; problem-based learning.

## 1. Introducción

Desarrollar competencias para la comprensión y aplicación de conceptos en la solución de problemas es fundamental en la formación de ingenieros [1,2]. Para los estudiantes de pregrado

que cursan la asignatura mecánica de suelos, el origen y formación de suelos, estados de esfuerzos totales y efectivos, incrementos de esfuerzos, conductividad hidráulica, resistencia al corte y compresibilidad son conceptos [3-8] a aprender en los laboratorios [9,10]. Investigaciones sobre laboratorios virtuales señalan que éstos contribuyen a desarrollar competencias [11-14]. Sin embargo la revisión de trabajos sobre el uso de dichos laboratorios en mecánica de suelos evidencia que existe poca experiencia y la mayoría de aplicaciones provienen de países desarrollados [15-17]. Este artículo describe las percepciones de los estudiantes sobre la utilidad de los laboratorios virtuales para comprender y aplicar conceptos en la solución de problemas relacionados con mecánica de suelos. Para tal fin, se adoptaron unos laboratorios virtuales en el segundo semestre del año 2016 en la asignatura mecánica de suelos en los pregrados de ingeniería civil e ingeniería agrícola en la Universidad Nacional de Colombia.

La asignatura mecánica de suelos hace parte del área de geotecnia. Se orienta al desarrollo del perfil del egresado en ingeniería civil que incorpora una serie de objetivos educativos, dos de los cuales están relacionados con el propósito de los laboratorios virtuales que aquí se presentan: “Articular sus conocimientos técnicos y científicos para la resolución congruente con el contexto social, cultural, económico, político y medio ambiental, de problemas de ámbito nacional o internacional en conjunto con varias disciplinas” y “Tener una inclinación especial hacia el aprendizaje, la profundización y la investigación continua y permanente para ser capaz de asimilar y adaptarse rápidamente a los cambios (ej.: científicos, tecnológicos) a los que se enfrente en su vida profesional” [18]. La asignatura tiene un peso en el plan curricular de 3 créditos académicos<sup>1</sup> [19]. Durante las 16 semanas que comprende el semestre, los estudiantes dedican unas 144 horas de las cuales el 44,4% corresponde a trabajo presencial que incluye el desarrollo de clases teóricas, talleres con ejercicios sobre la teoría estudiada y laboratorios presenciales [20]. En los laboratorios presenciales se realizan ensayos estandarizados cuyo conocimiento se considera indispensable para la

**Como citar este artículo:** Colmenares, J.E., Héndez, N.R. and Celis-Giraldo, J., Percepciones de los estudiantes sobre el uso de los laboratorios virtuales en mecánica de suelos. *Educación en Ingeniería*, 13(25), pp. 88-101, Febrero, 2018.

<sup>1</sup> Según el Acuerdo 033 de 2007 del Consejo Superior Universitario, un crédito académico equivale a 48 horas de trabajo académico, que incluyen la dedicación presencial y el trabajo independiente del estudiante.

formación en el campo de la geotecnia y debido al plan de estudios y al tiempo disponible, se aborda un número limitado de ensayos. Los ensayos que se priorizan son consolidación, compresión inconfínada, compresión triaxial, corte directo y conductividad hidráulica. De los cinco ensayos de laboratorio mencionados, consolidación y corte directo se realizaron en modalidad virtual y presencial, mientras que los tres restantes se hicieron únicamente bajo modalidad presencial.

Es importante anotar que el 73% de los profesores encuestados en el último proceso de autoevaluación del programa de ingeniería civil considera que los laboratorios contribuyen a la calidad del programa, especialmente a la comprensión de los conceptos mientras el 37% de los estudiantes entre 5% y 10% coinciden con esta afirmación [21]. De otro lado, el 23% de los profesores afirma que se requiere mejorar la infraestructura de los laboratorios y el 57% de los estudiantes presenta observaciones frente a la suficiencia de equipos y materiales [21]. El programa de ingeniería civil cuenta con infraestructura para realizar 36 tipos de prácticas de suelos, rocas y pavimentos, temáticas del componente de geotecnia, un promedio de 10 equipos por práctica y una capacidad de atención simultánea de 30 estudiantes [21]. El mantenimiento de estas máquinas y el desarrollo de ensayos de extensa duración, más de un día de ejecución, generan altos costos [22] y dificultan la participación de todos los estudiantes en la realización de todos los laboratorios en modalidad presencial. Ante este panorama, en el año 2016 se propuso el diseño de los laboratorios virtuales con el fin de aportar a los objetivos de la asignatura mecánica de suelos. Por ello, el diseño consideró superar las dificultades de logística e impactar en las habilidades asociadas con la resolución de problemas [2,23]. En este proceso, los objetivos de la asignatura fueron asociados con tres tipos de logro de aprendizaje: 1) la comprensión y conocimiento de conceptos 2) las habilidades analíticas y 3) las habilidades en investigación desde la perspectiva del aprendizaje basado en problemas [11].

## 2. Marco conceptual

Los laboratorios virtuales se diseñaron desde la perspectiva del aprendizaje basado en problemas (ABP) con el fin de aportar a la capacidad de resolver problemas relacionados con la mecánica de suelos [24]. El análisis inicial acerca de los laboratorios permitió identificar que éstos se consideran como una herramienta para el aprendizaje y el desarrollo de habilidades, pero que debido a la manera en que son implementados no alcanzan los resultados esperados [20]. En este contexto, se asumió el aprender como una acción orientada a la comprensión de conceptos [25] que acontece en un sistema social [26] en el cual el conocimiento está distribuido entre los individuos y sus ambientes, incluyendo objetos, artefactos, herramientas y las comunidades de las cuales hacen parte [27]. Diseñar un laboratorio desde la perspectiva del ABP supuso plantear una situación que involucrara un problema relacionado con las propiedades mecánicas de los suelos, a partir del cual los estudiantes iniciaran una ruta de análisis y una solución que involucrara el uso de ensayos y datos de laboratorio. Un problema se entendió como una situación que enfrenta un estudiante o un grupo de ellos y requiere una solución que no es evidente al

principio [28]. Solucionar un problema depende del conocimiento y los conceptos que tuvieran los estudiantes [1,29], y también de sus habilidades de investigación tales como las de observación, identificación de preguntas o necesidades y planteamiento de estrategias para comprender los fenómenos. En el proceso de solución de los problemas, los estudiantes definen un problema, determinan estrategias y recursos para encontrar soluciones e identifican el tipo y la fuente de datos requeridos [20]. Con estos insumos, seleccionan opciones de solución [28] y pueden evaluarlas frente a otras para saber cuál es la mejor [30]. Así enfocados, los laboratorios promueven el desarrollo de habilidades de pensamiento y de conceptualización, la aplicación de más modelos y teorías sobre los fenómenos y el fortalecimiento de la autonomía en el proceso de adquisición de habilidades [31].

Un laboratorio “brinda una oportunidad para integrar aspectos conceptuales, procedimentales y epistemológicos dentro de enfoques alternativos, que pueden permitir el aprendizaje de los estudiantes con una visión constructivista a través de métodos que implican la resolución de problemas, los cuales le brindan la experiencia de involucrarse con los procesos de la ciencia” [30, p.103]. Además, la actividad experimental desarrolla una fuerte conexión entre la realidad y la teoría por medio de la observación de conceptos [31]. Los laboratorios pueden desarrollarse de manera presencial, remota o virtual. La manera presencial implica compartir el espacio físico en cual se encuentran los recursos mientras que la remota supone manipular los recursos del laboratorio presencial a través de un software que permita su acceso. La virtual es llevada a cabo a través de simulaciones de los recursos del espacio presencial sin que sea necesario hacer uso de este [32], de manera que una práctica de laboratorio virtual es un “proceso de simulación que extrae del medio real la esencia de un fenómeno determinado” [22, p.77]. Existen diferentes resultados a partir de la implementación de laboratorios virtuales. Según [17], la interacción con las simulaciones aumentó la motivación a estudiar los contenidos de la asignatura. [33] reporta que los laboratorios virtuales incrementaron la motivación, pero no los niveles de aprendizaje. Por su parte, [34] hace alusión no sólo a la modalidad sino a la forma en que se desarrollan los laboratorios, indicando que hay laboratorios catalogados como presenciales pero que son realizados únicamente por el profesor mientras el estudiante es un observador, con lo que la interacción del estudiante con los recursos difiere de lo esperado en un laboratorio presencial. En la investigación de [13] se encontró que los estudiantes tuvieron preferencia por los presenciales sobre los remotos y virtuales, y de los remotos sobre los virtuales. El meta-estudio de [11] no encontró evidencias significativas ni una tendencia clara que permita generalizar la afirmación de que la modalidad presencial sea mejor que la virtual o viceversa. Al respecto [25] menciona que la modalidad a adoptar depende del objetivo que se persigue, aunque siempre será preferible aprovechar ambas modalidades.

En la Tabla 1, se encuentran las competencias a desarrollar asociadas con las categorías de logro educativo que están en estrecha relación con la comprensión de conceptos y solución de problemas en el marco de la asignatura de mecánica de suelos.

Tabla 1  
Relación de las competencias de la asignatura con las categorías de [11]

Competencias	Conocimientos y comprensión	Habilidades de investigación	Habilidades analíticas
Identificar en situaciones concretas problemas asociados con las propiedades mecánicas de los suelos	X	X	
Aplicar técnicas y herramientas con el propósito de analizar las propiedades mecánicas de los suelos	X	X	
Recolectar, interpretar y analizar datos que permitan formular soluciones que involucren las propiedades mecánicas de los suelos	X	X	X

Fuente: Los autores

Tabla 2  
Conocimientos, habilidades y temas para problemas asociados con los diferentes ensayos

Conocimientos y comprensión CC	Habilidades de investigación HI	Habilidades de análisis HA
<ul style="list-style-type: none"> <li>Flujo en medios porosos.</li> <li>Comportamiento volumétrico.</li> <li>Comportamiento de resistencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar cuáles conceptos son relevantes para la solución de un problema.</li> <li>Identificar las variables que afectan un fenómeno o problema de ingeniería.</li> <li>Proponer arreglos experimentales para medir las propiedades del suelo necesarias para aplicar la teoría en relación con un problema dado.</li> <li>Identificar las fuentes de error en la ejecución de experimentos.</li> <li>Identificar el tipo de ensayo apropiado según el tipo de suelo y las condiciones del problema a estudiar.</li> <li>Presentar de manera organizada el estudio de un problema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar la influencia de las condiciones de realización del ensayo en los resultados.</li> <li>Incorporar análisis de sensibilidad (estudios paramétricos) ante cambios de propiedades o tipos de suelos, para comprender mejor el problema o fenómeno.</li> <li>Simplificar y formular un modelo que en condiciones controladas reproduzca de manera razonable el fenómeno en estudio, en relación con un problema de ingeniería.</li> <li>Comparar los resultados experimentales con la teoría y con resultados de otros experimentos.</li> <li>Elaborar gráficos de tendencia con los resultados experimentales.</li> <li>Elaborar conclusiones fundamentadas, a partir de la observación o de la teoría.</li> <li>Identificar posibles explicaciones para los resultados obtenidos.</li> </ul>

Fuente: Los autores

Con el fin de seleccionar los laboratorios virtuales se realizó una búsqueda de herramientas y recursos de libre acceso encontrando escasez de laboratorios basados en simulaciones en mecánica de suelos con las cuales sea posible interactuar. En cambio, se encontraron recursos multimedia (videos y animaciones) y guías de laboratorios digitalizadas catalogadas como laboratorios virtuales. Fue indispensable entonces, diseñar nuevos laboratorios virtuales. La virtualidad, en sentido de "virtualidad informática" [35], consistió en la digitalización de una serie de datos producidos en laboratorios reales con los cuales los estudiantes realizaron simulaciones sobre el comportamiento de los suelos partiendo de información real para responder preguntas a partir de hipótesis explicativas que se esperaba comprobar [36]. Por ello, se partía de una situación real para la realización de los laboratorios, luego de una pregunta problema, posteriormente la identificación de aspectos conceptuales, el manejo y finalmente el análisis de datos según las características de cada caso. Los laboratorios tuvieron como propósito el fortalecimiento de tres dimensiones del aprendizaje: conocimientos y comprensión (CC), habilidades de investigación (HI) y habilidades de análisis (HA). Para su diseño fue necesario operacionalizar lo esperado para cada dimensión (Tabla 2), pues se requería establecer los problemas para cada laboratorio.

Además de la definición de problemas, el diseño de los laboratorios implicó la construcción de una guía de laboratorio que incluyó la situación problema y una lista de preguntas. En el primer laboratorio se hizo entrega de una base de datos de resultados de ensayos de caracterización de suelos y consolidación con la finalidad de que los estudiantes realizaran los cálculos correspondientes, analizaran las propiedades de las muestras ensayadas e identificaran la variabilidad de las propiedades de comprensibilidad de los suelos en profundidad. En el segundo laboratorio, a partir de un modelo teórico, acompañado con una base de datos, los estudiantes debían predecir el comportamiento de diferentes muestras de suelo de dos ensayos de laboratorio: el ensayo de compresión confinada y el ensayo de compresión triaxial consolidado no drenado.

### 3. Evaluación de logros educativos esperados

La evaluación de los laboratorios virtuales se hizo empleando informes de laboratorio que incluyeron el reconocimiento del problema de suelos presente en la situación, el planteamiento de la estrategia de solución o análisis, el reconocimiento de los conceptos necesarios para comprenderlo, el uso que se daría a los datos recolectados a través del laboratorio, además del análisis o propuesta de solución del problema. El esquema de la V de Gowin [30,37] se consideró adecuado para sintetizar dichos elementos de manera articulada y evidenciando así si el estudiante comprendió el problema, relacionó sus conocimientos y solucionó el problema. De esta manera, se tuvieron en cuenta el dominio conceptual (teorías, principios y conceptos), la recolección y el procesamiento de datos y la presentación de resultados.

### 4. Metodología

La incorporación y evaluación de las tecnologías de información y comunicaciones en escenarios educativos involucra

Tabla 3  
Categorías de análisis

Categoría	Definición	Aspectos que componen la categoría
<b>Escala de percepción de autoeficacia</b>		
Autoeficacia en conocimientos y comprensión	Evaluación de su habilidad de desempeñarse de manera exitosa para confirmar, aplicar, visualizar y/o resolver problemas relacionados con los contenidos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconocer los conceptos en situaciones reales.</li> <li>• Comprende los conceptos.</li> <li>• Describir la realidad a partir de la teoría estudiada.</li> <li>• Los conceptos abordados son:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compresibilidad de materiales téreos.</li> <li>• Teoría de la consolidación unidimensional de suelos.</li> <li>• Comportamiento de resistencia al corte.</li> </ul> </li> </ul>
Autoeficacia en habilidades investigativas	Evaluación de su habilidad para desempeñarse de manera exitosa haciendo observación, creación y prueba de hipótesis, generación de diseños experimentales, y responder a una epistemología de la ciencia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar qué conceptos son relevantes para la solución de un problema.</li> <li>• Identificar las variables que afectan un fenómeno o problema de ingeniería.</li> <li>• Presentar de manera organizada el estudio de un problema.</li> <li>• Identificar el tipo de ensayo apropiado según el tipo de suelo y las condiciones del problema a estudiar.</li> <li>• Incorporar análisis de sensibilidad (estudios paramétricos) ante cambios de propiedades o tipos de suelos, para comprender mejor el problema o fenómeno.</li> </ul>
Autoeficacia en habilidades analíticas	Evaluación de su habilidad de desempeñarse de manera exitosa para criticar, predecir, inferir, interpretar, integrar y reconocer patrones en datos experimentales y su uso para generar modelos de comprensión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparar los resultados experimentales con la teoría y con resultados de otros experimentos.</li> <li>• Elaborar gráficos de tendencia con los resultados experimentales.</li> <li>• Elaborar conclusiones fundamentadas a partir de la observación o de la teoría.</li> <li>• Identificar posibles explicaciones para los resultados obtenidos.</li> <li>• Identificar la influencia de las condiciones de realización del ensayo en los resultados.</li> </ul>
Percepción de utilidad	Grado en que considera que los laboratorios favorecen (o dificultan) su aprendizaje y los alcances y tipos de aprendizaje que se logran a partir de su realización.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto en el aprendizaje.</li> <li>• Pertinencia para el aprendizaje.</li> <li>• Tipos de aprendizaje que se logran (conectado con las tres categorías anteriores).</li> </ul>
Percepción sobre la experiencia	Valoración de la experiencia de	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agrado/Desagrado</li> <li>• Claridad</li> </ul>

Categoría	Definición	Aspectos que componen la categoría
	realización de los laboratorios en términos positivos y negativos para los estudiantes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidad/Dificultad</li> <li>• Necesidad de acompañamiento</li> </ul>

Fuente: Los autores

diferentes dominios de las instituciones como políticas, recursos, planes de estudios, organización, prácticas de enseñanza, prácticas de aprendizaje [38], y contextos como el político, administrativo, de aula, prácticas y estudiantes [39]. Este estudio se centró particularmente en el contexto del aula así como de las prácticas de enseñanza y aprendizaje [40]. Algunos estudios acerca de laboratorios virtuales en educación se han orientado a evaluar los conocimientos adquiridos [13,14,41], su utilidad frente al aprendizaje [13,17,41], o aspectos técnicos como su usabilidad y funcionamiento [17,41]. En este estudio, el interés estuvo centrado en la comprensión de conceptos y el desarrollo de habilidades para resolver problemas relacionados con las propiedades mecánicas de los suelos a través de tres dimensiones asociadas con dicha habilidad que, como se presentó en el marco conceptual, hacen parte de los posibles aprendizajes derivados de la implementación de laboratorios: CC, HI y HA [11]. Se evaluó la percepción de autoeficacia como indicador de aprendizaje en dichas categorías, así como la percepción asociada con la utilidad y con la evaluación de la experiencia.

#### 4.1. Categorías de análisis

Para el análisis de la información recolectada se definieron cinco categorías a partir de la revisión bibliográfica realizada y los propósitos del estudio (Tabla 3).

Además, en el proceso de análisis de los datos surgieron subcategorías y la categoría emergente “experiencias previas con laboratorios”. Esta alude a las realizaciones previas con laboratorios y las valoraciones acerca de ellos, que como se evidencia en los resultados influye significativamente en la percepción sobre la experiencia con estos laboratorios.

#### 4.2. Recolección de información

##### 4.2.1. Instrumento 1. Cuestionario

El cuestionario aplicado al inicio del segundo semestre de 2016 tuvo como objetivos: 1) caracterizar socio-demográfica y académicamente a los estudiantes que cursaron la asignatura 2) identificar la percepción de los participantes acerca de sus conocimientos y habilidades (de investigación y análisis) asociadas con la resolución de problemas en el momento de iniciar el curso y 3) identificar la percepción que tienen los estudiantes sobre el papel que juegan los laboratorios, presenciales y virtuales, en su aprendizaje de acuerdo con sus experiencias previas. El cuestionario tenía tres secciones. La primera con preguntas de caracterización socio-demográfica. La segunda con preguntas construidas a partir de la escala de percepción de auto-eficacia planteada por [42] para quien la



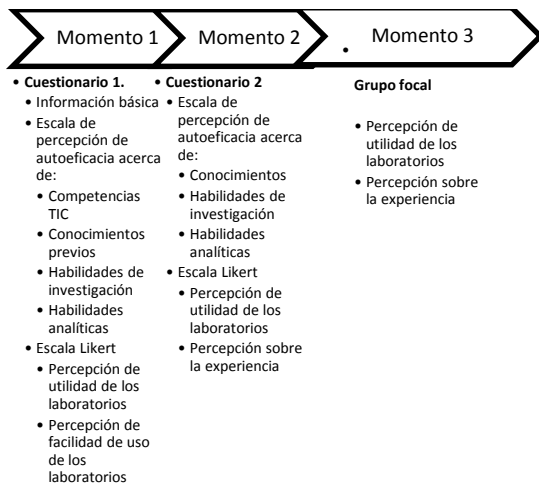


Figura 1. Momentos de la investigación e instrumentos  
Fuente: Los autores

percepción de auto-eficacia se trata de las creencias de los individuos sobre sus habilidades para producir determinados logros y se relaciona con la percepción de dificultad que se debe superar para lograr un resultado, en este sentido, la auto-eficacia está relacionada con una capacidad y no con una actitud, intención o disposición. Según [42], la percepción de auto-eficacia influye en que los individuos piensen de manera errática o estratégica, de manera optimista o pesimista frente a determinadas situaciones, lo que establece una posible relación entre esta autopercepción y los niveles de desempeño, tema que no se evalúa en este estudio pero puede ser pertinente de revisar en otros. La tercera incluyó preguntas con una escala Likert de 4 opciones de respuesta, donde 1 correspondía a totalmente en desacuerdo y 4 a totalmente de acuerdo. Esta escala permite medir la intensidad de los sentimientos hacia un aspecto propuesto [43], en este estudio la experiencia con los laboratorios. Este instrumento fue validado por medio de una rúbrica, ítem por ítem, a través de tres pares expertos en mecánica de suelos. Los criterios de evaluación fueron univocidad (el ítem evalúa un solo aspecto), pertinencia (el ítem tiene relación lógica con la pregunta de estudio) e importancia (el ítem es relevante en relación con la pregunta de estudio). La validación fue complementada con la realización de un piloto. El instrumento se ajustó según los resultados y su versión final fue aplicada de manera presencial en la tercera semana académica a los 30 estudiantes que iniciaron la asignatura. En ese encuentro los estudiantes completaron un formato de consentimiento informado que contenía los propósitos de la investigación y la autorización para usar la información recogida durante el semestre, con este y con otros instrumentos y actividades.

#### 4.2.2. Instrumento 2. Cuestionario

El segundo instrumento tuvo como objetivos: 1) caracterizar socio-demográfica y académicamente a los estudiantes. Esta información se solicitó nuevamente dado que ambos cuestionarios eran anónimos y solicitarla cada vez era indispensable para establecer relaciones entre la información

socio-demográfica y las demás respuestas 2) identificar la percepción de los participantes acerca de sus CC, HI y HA determinadas como logro de los laboratorios implementados 3) identificar la percepción de utilidad de los laboratorios virtuales realizados para el aprendizaje, así como el tipo de logros que estos permiten alcanzar 4) describir las percepciones sobre la experiencia de desarrollo de los laboratorios realizados. La estructura fue similar a la del primer cuestionario. En la primera sección se añadieron preguntas de trayectoria académica y dedicación como el número de asignaturas y los créditos cursados durante el semestre. En la segunda sección las preguntas de auto-percepción de eficacia que incluyeron las tres dimensiones de interés del estudio. Los ítems fueron encaminados hacia los logros que se esperaba fortalecer con los laboratorios virtuales implementados. Finalmente, la sección con preguntas tipo Likert incluyó ítems para evaluar la experiencia de desarrollo de los laboratorios implementados. De esta manera, aunque los dos instrumentos tenían estructuras similares, las preguntas fueron diferentes por lo que no se trató de la aplicación de un ejercicio de evaluación pre y post en términos de comparabilidad, sino de una valoración en dos momentos del proceso de escolarización: previo a la implementación de los laboratorios virtuales y posterior a la experiencia de realización de los mismos. El segundo instrumento se validó por medio de tres pares expertos, dos de ellos especialmente en mecánica de suelos y otro en el campo de la educación. Las dimensiones de evaluación fueron como en el primer instrumento: univocidad, pertinencia e importancia. Igualmente, tuvieron la posibilidad de comentar cada ítem y el instrumento en su conjunto. Recibidas sus observaciones, se ajustó para obtener la versión final la cual se dispuso en la herramienta Forms de Google®, para distribuirlo vía correo electrónico. El instrumento fue aplicado en la última semana de la asignatura. Para este momento, el grupo contaba con 27 estudiantes en total, de los cuales 22 dieron respuesta.

#### 4.2.3. Instrumento 3. Grupo focal

El grupo focal se propuso como técnica de recolección de información complementaria a los cuestionarios. Con este se buscó profundizar en las percepciones de los estudiantes sobre los laboratorios virtuales implementados y su relación con el aprendizaje y el desarrollo de habilidades para la resolución de problemas. Los objetivos del grupo focal fueron: 1) identificar la percepción que tienen los estudiantes sobre los laboratorios como estrategia didáctica en ingeniería 2) conocer la percepción sobre la experiencia de desarrollo de los laboratorios virtuales implementados en el marco de esta investigación en la asignatura mecánica de suelos y 3) identificar las percepciones de los estudiantes sobre los laboratorios virtuales como herramienta para el aprendizaje y el desarrollo de la habilidad para resolver problemas en la asignatura mecánica de suelos. La selección de participantes se realizó buscando representación de estudiantes con buen desempeño académico, regular y bajo, según las calificaciones obtenidas a lo largo del semestre. Se contó con la participación de 9 estudiantes en total. Al inicio del grupo focal, se solicitó completar un formato de consentimiento informado y autorización del uso de la información allí recolectada.

Nombre	Fundamentado	Densidad
⚙ Acompañamiento	6	1
⚙ AE Conocimientos	5	1
⚙ AE Habilidades de análisis	9	1
⚙ AE Habilidades investigación	7	1
⚙ Datos	4	3
⚙ Dedicación	2	1
⚙ Definición de laboratorio	8	2
⚙ Desagrado~	6	1
⚙ Dinámica de desarrollo	18	4
⚙ Evaluación	4	1
⚙ Percepción sobre la experiencia	23	8
⚙ Experiencias de laboratorios~	18	6
⚙ Falta de agencia	1	1
⚙ Guías - instrucciones	2	2
⚙ Habilidades prácticas	4	1
⚙ Percepción de utilidad	0	3
⚙ Pertinencia	1	1
⚙ Retroalimentación	3	1
⚙ Tipo de aprendizaje	26	7
⚙ Utilidad	6	2
⚙ Vínculo asignatura - lab	7	2

Figura 2. Frecuencia de categorías  
Fuente: Los autores por medio del programa de análisis de datos cualitativos Atlas ti.

#### 4.2.4. Tratamiento de la información recolectada

La información recolectada de los cuestionarios recibió tratamiento estadístico a partir del cual se identificaron las medias frente a cada pregunta y cada categoría. De igual manera, se establecieron relaciones con aspectos de la caracterización socio-demográfica como el género, el promedio académico y el tiempo dedicado a la asignatura durante el semestre. Por su parte, la información derivada del grupo focal fue transcrita en su totalidad y posteriormente sujeta a análisis y categorización usando para ello el programa Atlas.ti. En la Fig. 2 se presenta la frecuencia con que una subcategoría o categoría fue aplicada, es decir, la cantidad de citas que se le atribuyeron (columna Fundamentado). Es pertinente indicar que algunas citas se ubicaron en varias categorías por su contenido. En la figura también se muestra la cantidad de vínculos que cada subcategoría o categoría tiene con otras (columna Densidad).

En la Fig. 3 se presenta la red de subcategorías y categorías que se construyó a partir del análisis en la cual se evidencia la densidad indicada en la Fig. 2.

## 5. Resultados

### 5.1. Caracterización socio-demográfica y trayectoria académica

Las caracterizaciones, tanto socio-demográfica como de trayectoria académica, que se presentan recogen los datos de los 22 estudiantes que respondieron el cuestionario, del total de 27 que concluyeron la asignatura. La distribución por género fue 90,91% hombres y 9,09% de mujeres. El porcentaje de mujeres

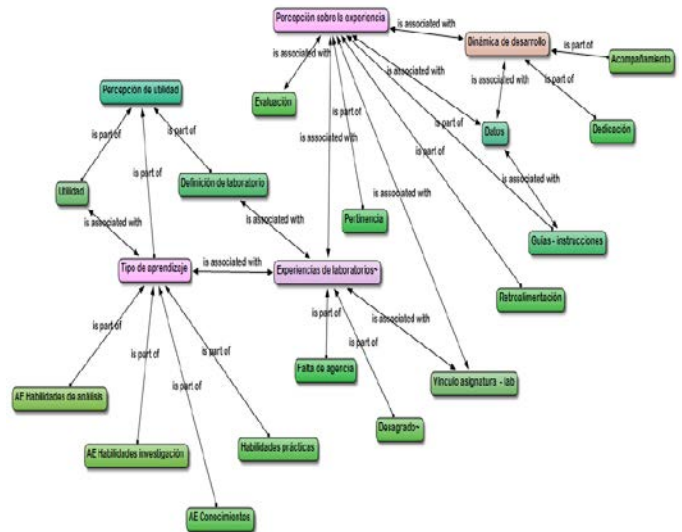


Figura 3. Red de relaciones entre categorías  
Fuente: Los autores por medio del programa de análisis de datos cualitativos Atlas ti.

es menor al de mujeres matriculadas en la Universidad Nacional de Colombia en los programas de ingeniería agrícola e ingeniería civil, que para 2015 fue de 29,46% y 17,93%, respectivamente [44]. Respecto al rango de edad, el 13,64% era menor de 20 años y el 4,55% mayor de 30. La mayor concentración de estudiantes estaba en el rango entre los 20 y 24 años (68,18%). Acerca del origen, el 59,09% eran de Bogotá y el 40,91% de otras 8 ciudades del país. En relación con el tipo de institución educativa en la que cursaron la educación media, el 54,55% provenía de instituciones públicas. El 54,55% de los estudiantes desempeñó algún trabajo durante el semestre en que se implementaron los laboratorios virtuales. De los 22 estudiantes, el 90,91% estaban matriculados en ingeniería civil y el 4,55% en ingeniería agrícola. El 13,64% de los estudiantes provenía de un Programa de Admisión Especial. En cuanto a la repetición en la asignatura mecánica de suelos, el 36,36% de los estudiantes se encontraba en esta condición. El promedio del “promedio aritmético ponderado acumulado” (PAPA) de los estudiantes era 3,76 siendo 3 el menor promedio presentado y 4,7 el mayor. En relación con el número total de créditos académicos cursados, el promedio era de 96,23 créditos cursados siendo 50 el mínimo de créditos cursados y 129 el máximo. En promedio los estudiantes tenían matriculados 17,64 créditos académicos.

### 5.2. Percepción de autoeficacia

La percepción de autoeficacia de cada dimensión (CC, HI y HA) se evaluó a través de una serie de ítems frente a los cuales cada estudiante debía calificar de 0 a 100. De esta manera se obtuvo un resultado por cada ítem para el grupo de estudiantes y de cada estudiante por cada categoría que engloba los diferentes aspectos. La categoría CC se evaluó a través de 20 ítems relacionados con los tres conceptos centrales que se buscaba fortalecer con la implementación de los laboratorios virtuales: flujo en medios porosos, comportamiento y el máximo 1.925. Haciendo una escala que divide

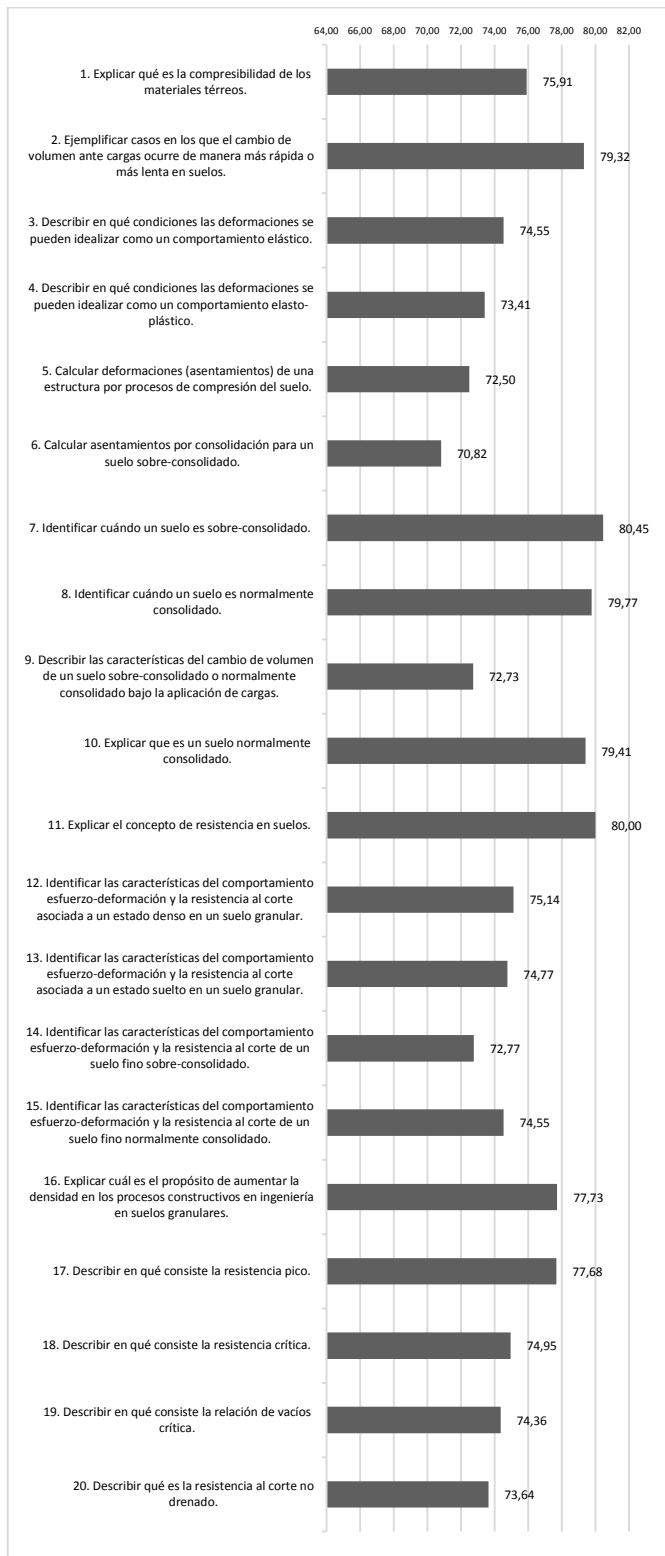


Figura 4. Puntaje promedio de ítems de la categoría de CC  
Fuente: Los autores

volumétrico y comportamiento de resistencia. La autopercepción de eficacia de cada estudiante en esta categoría podría puntuar máximo 2.000 puntos. El promedio de puntaje fue de 1.514 puntos siendo el puntaje mínimo registrado 1.340

el rango posible de puntaje en cuatro (mínimo, bajo, alto y máximo), este puntaje promedio se encuentra clasificado como máximo. Los ítems con mayor promedio en la calificación fueron identificar cuándo un suelo es sobre consolidado (80,45) y explicar el concepto de resistencia de suelos (80). Los de menor promedio fueron calcular asentamientos por consolidación para suelos sobre-consolidados (70,81) y deformaciones (asentamientos) de una estructura por procesos de compresión del suelo (72,5) (Fig. 4).

Para evaluar la percepción de autoeficacia de HI se construyeron 23 ítems. La categoría por estudiante podía recibir una calificación máxima de 2.300 puntos. El puntaje promedio fue 1.684,45 siendo 2.010 el mayor puntaje y 1.290 el menor. Haciendo una escala que divide el rango posible de puntaje en cuatro (mínimo, bajo, alto y máximo), este puntaje promedio se encuentra clasificado como alto. Los ítems con mayor puntaje promedio son los relacionados con identificar qué tipo de datos producto de ensayos de laboratorio se requieren para proponer soluciones ante un problema de suelos (79,09), cuáles son los conceptos relevantes ante un problema de mecánica de suelos (77,86) y las implicaciones de que el cambio de volumen ante cargas ocurra de manera lenta en un suelo (77,32) (Fig. 5). Mientras que con menor puntaje promedio se encuentran determinar, según la información que se tenga del perfil del suelo, si la información que se puede obtener con un ensayo de consolidación es pertinente para solución un problema dado (65), y definir, según las características de un problema de suelos, cuándo es pertinente realizar un ensayo de resistencia al corte (68,82).

Por su parte, para evaluar la percepción de autoeficacia de las HA se aplicaron 23 ítems. El puntaje máximo para esta categoría correspondía a 2.300. El puntaje promedio de esta dimensión fue 1652,82 siendo el puntaje mayor 2150 y el menor 800, muy por debajo del promedio. Haciendo una escala que divide el rango posible de puntaje en cuatro (mínimo, bajo, alto y máximo), este puntaje promedio se encuentra clasificado como alto. Los ítems de mejor puntaje promedio fueron explicar las causas por las cuales los ensayos no consolidados - no drenados alcanzan la misma resistencia en términos de esfuerzos totales independientemente de la presión de confinamiento (65) e identificar el tipo de ensayo de resistencia a realizar, el cual en condiciones controladas debe reproducir de manera razonable el fenómeno en estudio, en relación con un problema de ingeniería (65,36) (Fig. 6). Mientras que con mayor puntaje están construir gráficos que presenten los resultados de un ensayo realizado (77,95) y contrastar los resultados obtenidos en diferentes ensayos (77,18).

### 5.3. Percepción de utilidad de los laboratorios como estrategia didáctica y para el aprendizaje

Las percepciones fueron identificadas a través de ítems que fueron calificados a través de una escala Likert de cuatro opciones. Se construyeron 12 ítems para evaluar la percepción de utilidad de los laboratorios virtuales, tres más para evidenciar el tipo de logro que se puede alcanzar a través de dichos laboratorios y otros tres enfocados a lo que se requiere para su desarrollo. Para el primer grupo de preguntas el puntaje máximo



Figura 5. Puntaje promedio de ítems de la categoría de HI  
Fuente: Los autores

posible es 48, siendo 4 el máximo puntaje por pregunta. El puntaje promedio fue 33,95, siendo 13 el menor puntaje

obtenido y 41 el mayor. Los ítems frente a los que se expresó en promedio mayor grado de acuerdo fueron “El desarrollo de este tipo de actividades es útil para aprender a solucionar problemas de ingeniería.” (3,19); “El desarrollo de las actividades de laboratorios virtuales en la asignatura me permite poner en práctica conceptos y teorías.” (3,09); y, “El desarrollo de estas actividades me prepara para mi rol como profesional en ingeniería.” (3,09). Por su parte, la afirmación frente a la que en promedio hubo menor acuerdo fue “Quisiera que se incluyan más actividades como estas en la asignatura.” (2,55) (Fig. 7).



Figura 6. Puntaje promedio de ítems de la categoría de HA.  
Fuente: Los autores



Figura 7. Puntaje promedio de ítems de la categoría de percepción de utilidad  
Fuente: Los autores

De acuerdo con los estudiantes, los laboratorios permiten interactuar con casos cercanos a la realidad, se constituyen en escenarios de paso de la teoría a la práctica y permiten poner a prueba modelos estudiados. Estas concepciones son relevantes para la percepción sobre la utilidad que tienen de estos como estrategia didáctica. De otro lado, los estudiantes expresaron en el grupo focal que su participación en la ejecución de los ensayos de laboratorio realizados a lo largo de la carrera ha sido limitada en tanto estos son ejecutados por los laboratoristas frente a un grupo de estudiantes a quienes luego se les hace entrega de los datos obtenidos. Los estudiantes en ocasiones no participan en el proceso completo, ni toman decisiones sobre la ejecución. Dadas las características de los ensayos, la organización de los laboratorios y los tiempos disponibles los estudiantes no están teniendo participación directa en los laboratorios presenciales. Un análisis de las concepciones sobre los laboratorios que tienen los estudiantes junto con los comentarios realizados acerca de su ejecución, sugiere una ruptura entre la expectativa y la experiencia; perciben que los laboratorios tienen un potencial didáctico subutilizado. Además, según su percepción, la falta de participación en la ejecución de los ensayos de laboratorio disminuye su comprensión y dificulta el análisis de los datos. En consecuencia, aunque se encontraron percepciones positivas sobre los laboratorios como herramienta didáctica, algunos estudiantes no consideran relevante que se utilicen en otras asignaturas ni que generen mayor aprendizaje. En el segundo grupo de afirmaciones, orientadas a identificar el tipo de alcance de aprendizaje que se puede lograr con el desarrollo de los laboratorios, la afirmación con la que en promedio hubo

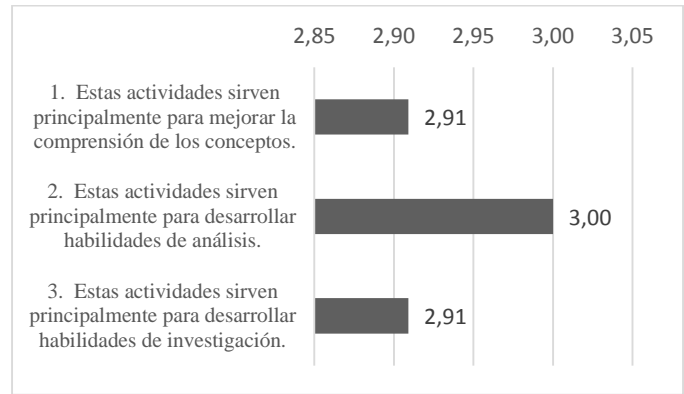


Figura 8. Puntaje promedio de ítems de la categoría de percepción de utilidad, alcance  
Fuente: Los autores

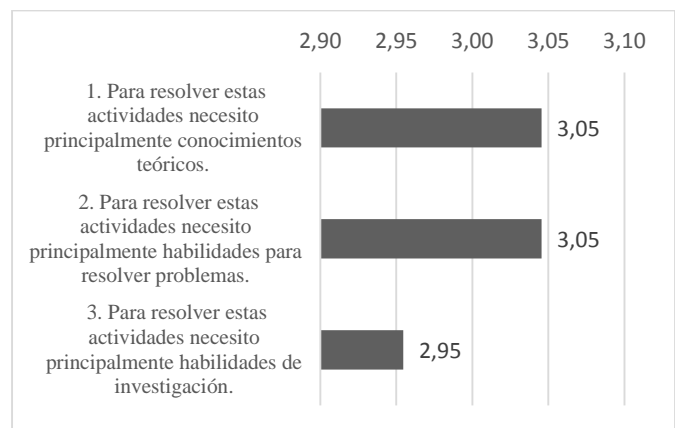


Figura 9. Puntaje promedio de ítems de la categoría de percepción de utilidad, requerimientos  
Fuente: Los autores

mayor acuerdo fue “Estas actividades sirven principalmente para desarrollar habilidades de análisis.” (3) (Fig. 8). Por su parte, en el tercer grupo, afirmaciones orientadas a identificar las necesidades frente al desarrollo de los laboratorios, las afirmaciones con las que en promedio hubo mayor acuerdo fueron “Para resolver estas actividades necesito principalmente conocimientos teóricos” y “Para resolver estas actividades necesito principalmente habilidades para resolver problemas”, ambas con un puntaje promedio de 3,05 (Fig. 9).

En el grupo focal se hizo referencia a habilidades prácticas y competencias generales como el trabajo en equipo. Se encontró que para los estudiantes existe una articulación profunda entre la realización del ensayo y el análisis de los datos que este produce. Al respecto perciben que la realización de laboratorios pierde utilidad por la falta de contexto suficiente en relación con el origen de los datos, situación que dificulta su comprensión de los mismos. Por otra parte, el trabajo en equipo y el uso de herramientas como Excel para producir las gráficas y analizar los datos fueron otros logros de aprendizaje mencionados por los estudiantes, los cuales pertenecen al rango de competencias generales. Algunos aprendizajes asociados con habilidades de análisis que se destacan son: cuestionarse el origen y fiabilidad de los datos, analizar las causas de los resultados obtenidos, organizar

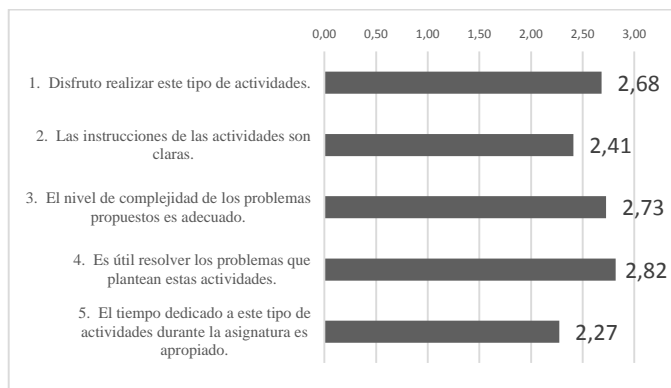


Figura 10. Puntaje promedio de ítems de la categoría de evaluación de la experiencia, aspectos generales

Fuente: Los autores

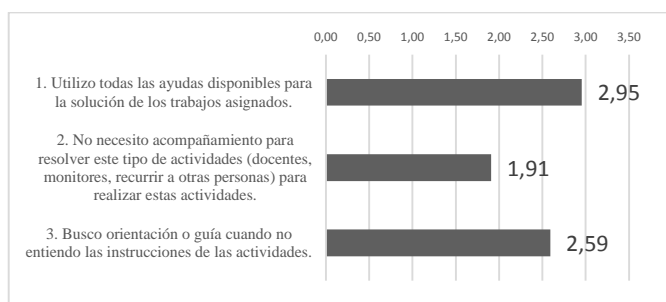


Figura 11. Puntaje promedio de ítems de la categoría de evaluación de la experiencia

Fuente: Los autores

los datos recibidos en función de las preguntas problema, tomar decisiones acerca de cuáles son los datos necesarios y qué hacer con ellos. Así, aunque percibieron como abrumadora la cantidad de datos recibidos, encontraron estrategias para comprenderlos, trabajarlos y orientarse hacia la solución de las situaciones planteadas.

#### 5.4. Evaluación de la experiencia

En esta categoría se incluyeron 8 afirmaciones que fueron calificadas por los estudiantes a través de una escala Likert de 4 opciones. De este grupo, 5 afirmaciones evaluaban de manera general la experiencia y 3 la necesidad de ayuda y solicitud de la misma por parte de los estudiantes. En cuanto a la evaluación general de la experiencia de desarrollo de los laboratorios virtuales, la afirmación que en promedio generó mayor acuerdo fue “Es útil resolver los problemas que plantean estas actividades.” con puntaje de 2,82. Mientras que la que generó mayor desacuerdo fue “El tiempo dedicado a este tipo de actividades durante la asignatura es apropiado.”, con un puntaje promedio de 2,27 (Fig. 10).

Al indagar sobre el acompañamiento en el desarrollo de los laboratorios, el mayor desacuerdo se dio frente a la afirmación “No necesito acompañamiento para resolver este tipo de actividades (docentes, monitores, recurrir a otras personas)” con un puntaje promedio de 1,91. Por su parte, la afirmación que mayor acuerdo encontró fue “Utilizo todas las ayudas

disponibles para la solución de los trabajos asignados.” con un puntaje promedio de 2,95 (Fig. 11).

En el grupo focal, entre los aprendizajes destacados asociados con la investigación está buscar información teórica que permita comprender los datos disponibles y el problema en sí mismo, probar diferentes rutas y tomar decisiones sobre cuáles son las más pertinentes. Sobre los conocimientos y su comprensión, los estudiantes consideraron relevante la oportunidad de poner la teoría en función de los laboratorios, apropiar los conceptos y abstraer de la teoría, aquellos conocimientos requeridos para analizar un problema. Un elemento crítico reiterado por los estudiantes fue la incertidumbre frente a los datos recibidos, lo que suponía relacionar la situación, las preguntas y los datos. Aunque desde la percepción de algunos, esto generó dificultades y desmotivación, desde la óptica del diseño de la investigación este desequilibrio hace parte de la transformación de los laboratorios desde el ABP.

Los estudiantes se refirieron a la necesidad de acompañamiento inicialmente para la comprensión de la tarea y la organización de la ruta de trabajo y posteriormente, frente a las dudas del proceso y los resultados obtenidos. Durante el desarrollo de la asignatura, los estudiantes contaban con sesiones de asesoría con el docente, la disponibilidad de un monitor y la posibilidad de consultar con los laboratoristas. En el segundo laboratorio se desarrolló una sesión especial de acompañamiento para resolver inquietudes. Para los estudiantes fue insuficiente el acompañamiento que brindaron los laboratoristas frente a sus dudas. Al respecto, los estudiantes no percibieron suficientes las herramientas y personas de acompañamiento en el proceso de desarrollo de la actividad, mientras que el equipo docente no percibió alta demanda de solicitudes, dado que en el segundo laboratorio se hizo una sesión específica de acompañamiento en la que no hubo gran participación de los estudiantes. Adicionalmente, los estudiantes se refirieron a la importancia de la retroalimentación como forma de evaluar sus decisiones en el proceso y para afianzar sus estrategias de abordaje de los datos y el análisis de los mismos. Según los estudiantes, recibieron muchos datos que no venían organizados de manera que pudieran abordarlos fácilmente, por lo que la primera etapa de desarrollo fue extenuante y descontó tiempo para el análisis. Al respecto los estudiantes consideraron que para futuros laboratorios, es indispensable su participación en el ejercicio de toma de datos o que el formato en que se entreguen les permita conocer mayor información sobre el desarrollo del ensayo. A pesar de las dificultades, los estudiantes consideran valioso el cambio de dinámica que se propuso a través de los laboratorios virtuales para retar su capacidad de aplicar conocimientos a situaciones específicas, para experimentar su rol como ingenieros y para leer y comprender un problema determinado.

#### 6. Análisis de resultados

En esta sección se presenta el análisis de los resultados presentados previamente como percepción de autoeficacia y percepción de utilidad según las características socio-demográficas y de trayectoria académica de los estudiantes.

**6.1. Percepción de autoeficacia según el tipo de estudiantes**

Las mujeres puntúan más alto en su percepción de autoeficacia en las tres dimensiones –CC, HA y HI-, de la misma manera que quienes cursaron más créditos durante el semestre y quienes reportaron una menor dedicación de tiempo semanal para la asignatura. Los estudiantes que hacen parte de programas de admisión especial tienen mayor percepción de autoeficacia en CC y HI. (Figs. 12, 13 y 14).

**6.2. Percepción de utilidad como estrategia didáctica según tipo de estudiante**

Las afirmaciones acerca de la utilidad de los laboratorios virtuales como estrategia de aprendizaje fueron calificadas por los estudiantes, en escala de 1 a 4 (1: totalmente en desacuerdo y 4: totalmente de acuerdo) en promedio con 2,83. Al profundizar el análisis de estos resultados en relación con las características socio-demográficas y de trayectoria académica se encontró que los estudiantes con menores PAPA, los que menos tiempo dedicaron al desarrollo de los laboratorios, aquellos que tuvieron actividad laboral durante el semestre y quienes reportaron dedicar más horas a la asignatura presentaron mayor acuerdo con estas afirmaciones. Las sentencias con las que fue reiterado el acuerdo aluden a que el desarrollo de estas actividades los prepara para su rol como ingenieros, es útil para aprender a solucionar problemas y que permite poner en práctica conceptos y teorías. En este mismo sentido, la experiencia de desarrollo de estos laboratorios virtuales les permite experimentar su rol como futuros ingenieros e interpela a sus conocimientos y a su capacidad de ponerlos en práctica en el abordaje de una determinada problemática de mecánica de suelos. De otro lado, quienes presentaron más desacuerdo con las afirmaciones fueron los estudiantes con mejores PAPA y quienes cursaron mayor cantidad de créditos durante el semestre (Fig. 15). El mayor desacuerdo estuvo en relación con que desearían que haya más actividades como estas en otras asignaturas y que se aprende más en una asignatura en la que se desarrollan este tipo de actividades que en una en la que no las hay.

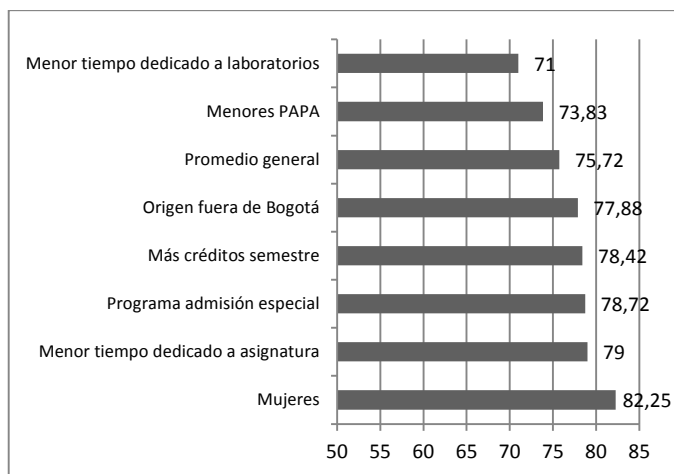


Figura 12. Percepción de autoeficacia en CC según aspectos socio demográficos y de trayectoria académica  
Fuente: Los autores

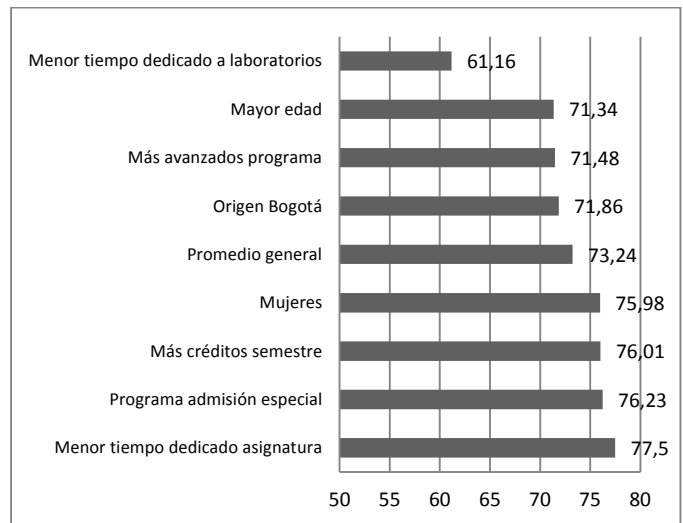


Figura 13. Percepción de autoeficacia en habilidades de investigación (HI) según aspectos socio-demográficos y de trayectoria académica  
Fuente: Los autores

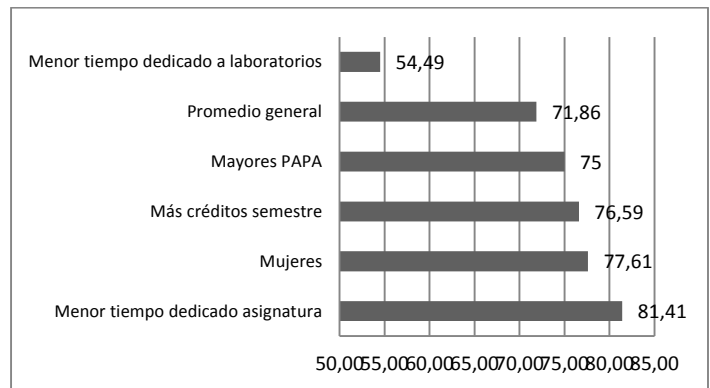


Figura 14. Percepción de autoeficacia en habilidades de análisis (HA) según aspectos socio-demográficos y de trayectoria académica  
Fuente: Los autores

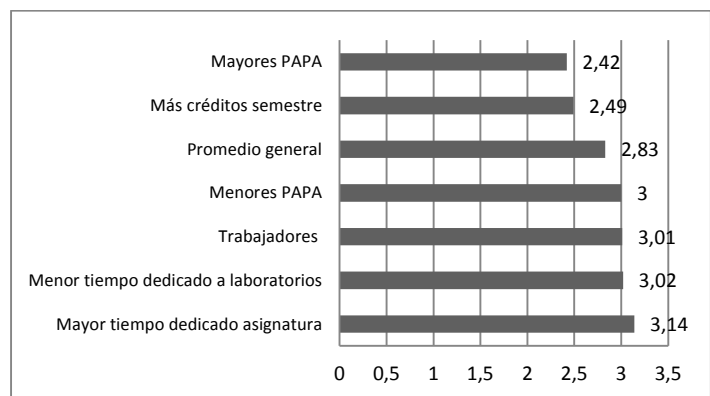


Figura 15. Percepción de utilidad como estrategia didáctica según aspectos socio demográficos y de trayectoria académica  
Fuente: Los autores

En relación con el tipo de logro de aprendizaje que se fortaleció con los laboratorios virtuales implementados se encontró que según el promedio general no hay diferencia entre

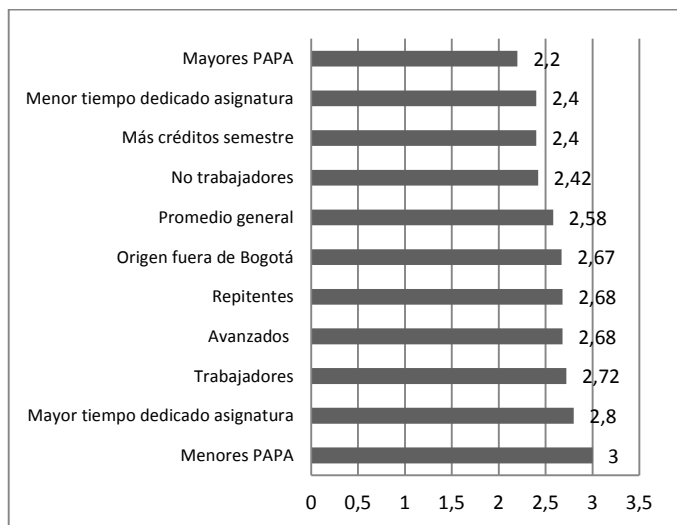


Figura 161. Evaluación de la experiencia según aspectos socio demográficos y de trayectoria académica

Fuente: Los autores

CC, HI y HA. En general, hubo un acuerdo ligeramente mayor hacia las habilidades de análisis (3) mientras que los otros dos son puntuados de igual manera (2,91). Profundizando en las respuestas, se encuentra que los estudiantes que dedicaron mayor tiempo a la asignatura y las mujeres perciben que este tipo de actividades favorece la comprensión de conceptos, con valoraciones de 3,67 y 3,5 respectivamente. Por otro lado, los estudiantes que reportaron mejores PAPA, los de menor edad y quienes no realizaron actividades laborales durante el semestre, presentaron más desacuerdo con este alcance de aprendizaje, con puntajes de 2,6; 2,6 y 2,4 respectivamente. Los grupos que presentaron mayor acuerdo con que los laboratorios virtuales permiten generar habilidades de análisis son las mujeres, los estudiantes que llevaban un porcentaje mayor del programa académico cursado, quienes pertenecían a programas de admisión especial y quienes reportaron mayor dedicación de tiempo a la asignatura con puntajes de 3,5; 3,4; 3,3 y 3,3, respectivamente. Mientras que los grupos con mayor desacuerdo con este alcance de aprendizaje fueron los que han cursado menor porcentaje del programa académico y aquellos que matricularon mayor número de créditos durante el semestre, con puntajes de 2,67 y 2,5, respectivamente. Finalmente, en relación con las HI fueron las mujeres y los estudiantes con menores PAPA quienes presentaron mayor acuerdo con que estas son fortalecidas con los laboratorios virtuales, con puntajes de 3,5 y 3,3 respectivamente. Los grupos de mayor desacuerdo frente a este logro de aprendizaje fueron los estudiantes con mejores PAPA, quienes cursaron menos créditos en el semestre y quienes reportaron una menor dedicación de tiempo a la asignatura durante el semestre, con puntajes de 2,6; 2,5 y 2,5 respectivamente.

### 6.3. Evaluación de la experiencia asociada con el tipo de estudiante

Las afirmaciones de esta categoría fueron evaluadas según la misma escala Likert de 4 opciones. Separando en dos categorías el grupo de preguntas, se tienen aquellas relacionadas con el acompañamiento y las que evaluaban de

manera general la experiencia. En este último grupo, el promedio de evaluación general fue de 2,58.

Los mejores promedios de evaluación de la experiencia (Fig. 16) corresponden a los grupos de estudiantes con menor PAPA (3), con mayor tiempo de dedicación a la asignatura (2,8) y quienes trabajaron en el semestre (2,72). De otro lado, las peores evaluaciones corresponden a los estudiantes con mayor PAPA (2,2), quienes cursaron más créditos en el semestre (2,4), dedicaron menos tiempo a la asignatura (2,4) y no trabajaron durante el semestre (2,42). Al indagar sobre la afirmación “No necesito acompañamiento para resolver este tipo de actividades (docentes, monitores, recurrir a otras personas)” la mayoría de estudiantes agrupados por características socio-demográficas y trayectoria académica presenta desacuerdo, con puntajes de 2 o menos, con excepción de quienes dedicaron menos tiempo a la asignatura (2,7), quienes reportaron provenir de fuera de Bogotá (2,6), los de mayor edad (2,2), quienes trabajaron en el semestre (2,1) y quienes repetían la asignatura (2,1). La mayoría puntúa más de 2,5 en relación con el uso de recursos y la búsqueda de apoyo cuando requirió ayuda, excepto quienes dedicaron menos tiempo a la asignatura que puntuaron en promedio 2,2 en cuanto a la búsqueda de ayuda cuando se requiere, quienes trabajaron (2,3) y quienes llevan mayor parte del programa académico cursado (1,8).

## 7. Conclusiones

Los laboratorios virtuales son una herramienta que permite a los estudiantes potenciar sus habilidades de análisis y de investigación en la solución de problemas específicos de la ingeniería. Así mismo se perciben como pertinentes para permitir a los estudiantes aproximarse a lo que será su rol como ingenieros en contextos laborales. Pero para alcanzar estos propósitos es fundamental que los laboratorios, virtuales o presenciales, estén bien fundamentados y diseñados [34]. En el caso del fortalecimiento de las habilidades de resolución de problemas debe atenderse principalmente su estructura que en este caso implicó la construcción de los problemas y las preguntas alrededor de estos. A partir del diseño propuesto, se logró la movilización de algunos elementos del sistema de aprendizaje [27] en el que estaban inmersos los estudiantes. Sin embargo, los resultados de las percepciones de los estudiantes permiten sugerir la necesidad de movilizar otros elementos, dentro de los que se encuentran los agentes educativos que realizan el acompañamiento en la realización de los laboratorios, así como la articulación entre la asignatura y los laboratorios virtuales, transformando otras de sus estrategias además de los laboratorios.

Los estudiantes percibieron los laboratorios virtuales como más complejos de realizar que otros que han realizado. Esto se debe principalmente a dos asuntos: el primero la recepción de una amplia cantidad de datos; y el segundo, que el tipo de preguntas a resolver no están centradas en procedimientos. Lo anterior puede relacionarse con la respuesta que dieron en el cuestionario indicando que no quieren más actividades como esta en sus asignaturas. Sin embargo, con la indagación en el grupo focal, se encontró que esta experiencia permitió transformar las relaciones estudiantes-datos y datos-problemas;



propició que los estudiantes se exigieran a analizar e interpretar el problema y sus preguntas; a probar diferentes formas de abordaje; y, a elegir entre las diversas rutas para abordar el problema que los llevaban a resultados distintos [20], [28]. Si bien la complejidad percibida les resultó en principio negativa, los estudiantes valoraron positivamente el reto que esto supuso para su formación y para la construcción de su identidad como ingenieros en formación.

De otro lado, se considera importante seguir profundizando sobre el desarrollo de habilidades instrumentales de los estudiantes. Los laboratorios virtuales no tienen como propósito el desarrollo de dichas habilidades en tanto tienen como supuesto fundamental que no haya una relación directa de los estudiantes con los instrumentos de laboratorio. Sin embargo, de acuerdo con lo manifestado por los estudiantes, en los espacios presenciales hay debilidades para el desarrollo de estas habilidades. Por lo tanto, el diseño de nuevas experiencias con laboratorios virtuales podría buscar opciones para articular estratégicamente en el sistema de aprendizaje el desarrollo de habilidades instrumentales.

Tanto los resultados de autoeficacia como de percepción varían al analizarlos según las características socio-demográficas de los estudiantes. De esta manera, resulta pertinente a futuro explorar diseños didácticos que incorporen laboratorios virtuales cuya flexibilidad permita adaptaciones concretas a los intereses y características de los grupos que componen cada curso. También se encuentran diferencias según la trayectoria académica de los estudiantes y el tiempo de estudio dedicado a la asignatura. Los estudiantes que más tiempo dedicaron a ésta valoran de manera más positiva el trabajo realizado con estos laboratorios virtuales y su capacidad de aportar en el desarrollo de conceptos y habilidades de análisis.

La ejecución de laboratorios virtuales se evidencia como una estrategia pertinente para dinamizar el pensamiento hacia la resolución de problemas, en tanto moviliza conocimientos, habilidades de investigación y de análisis. Sin embargo, para afianzar su desarrollo se requiere un mayor ejercicio de acompañamiento y retroalimentación. Al respecto, es clave que quienes ofrezcan la retroalimentación no solo tengan conocimientos técnicos sobre los ensayos, sino que comprendan la óptica del ABP y brinden orientaciones técnicas generales, respondan preguntas concretas sobre los datos y fortalezcan el pensamiento orientado a la resolución de problemas.

## Referencias

- [1] Kirsh, D., Problem solving and situated cognition, de *The Cambridge handbook of the learning sciences*, 2009.
- [2] Colmenares, J.E. y Celis, J., Hacia una formación más fundamentada y flexible en ingeniería civil, *Revista Educación en Ingeniería*, 11(21), pp. 4-8, 2016. DOI: 10.26507/rei.v11n21.581
- [3] Holtz, R.D. y Kovacs, W., *An introduction to geotechnical engineering*, Prentice Hall, 1981.
- [4] Mitchell, J.K. and Soga, K., *Fundamental of soils behavior*, 3rd Edition. ed., John Wiley & Sons, 2005.
- [5] Knappett, T.W. and Whitman, R.V., *Craig's soil mechanics*, 8th Edition. ed., Spon Press, 2012.
- [6] Das, B.M. and Sobhan, K., *Principles of geotechnical engineering*, 8th Edition. ed., Cengage Learning Inc., 2013.
- [7] Powrie, W., *Soil mechanics: Concepts and applications*, 3rd Edition. ed., CRC Press, 2014.
- [8] Budhu, M., *Soil mechanics fundamentals*, Wiley-Blackwell, 2015.
- [9] Prince, M.J. and Felder, R.M., Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases, *Journal of Engineering Education*, 95(2), pp. 123-138, 2006. DOI: 10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x
- [10] McDowell, G., A student-centred learning approach to teaching soil mechanics, *International Journal of Engineering Education*, 17(3), pp. 255-260, 2011.
- [11] Brinson, J., Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remot) versus traditional (hands on) laboratories, *Computers and Education*, 87, pp. 218-237, 2015. DOI: 10.1016/j.compedu.2015.07.003
- [12] de Jong, T., Linn M. and Zacharia, Z., Physical and virtual laboratories in science and engineering education, *Science*, 340, pp. 305-308, 2013. DOI: 10.1126/science.1230579
- [13] Stefanovic, M., Tadic, D. and Nestic, S., An assesment of distance learning laboratory objectives for control engineering education, *Computer application in engineering education*, 23(2), pp. 191-202, 2013. DOI: 10.1002/cae.21589
- [14] Wolf, T., Assessing student learning in a virtual laboratory environment, *IEEE Transactions on Education*, 53(2), pp. 216-222, 2010. DOI: 10.1109/TE.2008.2012114
- [15] Haque, M.E., Interactive animation and visualization in a virtual soil mechanics laboratory, de *Frontiers in Education Conf. 31st Annu*, Reno, 2001. DOI: 10.1109/FIE.2001.963840
- [16] Penumadu, D. and Prashant, A., Virtual simulator for advances geotechnical laboratory testing, in: *Conf. Geo Congress*, Atlanta, 2006. DOI: 10.1061/40803(187)270
- [17] Maurel, M.d.C., Dalfaro, N.A. y Soria, H.F., El laboratorio virtual: Una herramienta para afrontar el desgranamiento, en: *Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación*, Buenos Aires, 2014.
- [18] Universidad Nacional de Colombia, Documento interno de trabajo. Programa de ingeniería civil., 2016.
- [19] Consejo de la Facultad de Ingeniería Sede Bogotá, Acuerdo 27 de 2015, de 29 de octubre de 2015. [en línea]. Disponible en: <http://www.legal.unal.edu.co/sisjurun/normas/Norma1.jsp?i=85846>
- [20] Colmenares, J.E., Héndez-Puerto, N.R. y Celis-Giraldo, J.E., Laboratorios virtuales desde la perspectiva de resolución de problemas: Caso de la asignatura de mecánica de suelos, *Revista Educación en Ingeniería*, 12(22), pp. 97-103, Julio 2016. DOI: 10.26507/rei.v11n22.705
- [21] Universidad Nacional de Colombia, Informe de autoevaluación. Renovación de acreditación. Programa de pregrado en ingeniería civil., Bogotá, 2010.
- [22] Arévalo, C.E. y Bulla, L.A., Laboratorios virtuales para el aprendizaje en ingeniería civil a distancia, *Revista Academia y Virtualidad*, 1(1), pp. 73-81, 2008.
- [23] Celis, J., Camacho, A., León-Arenas, A. y Duque, M., Dime cómo enseñas y te diré qué tanto aprenden los estudiantes. Los aprendizajes y las prácticas de aula en algunas facultades de ingeniería en Colombia, Bogotá: ACOFI, ICFES, UniAndes, UniNorte, 2014.
- [24] Colmenares, J., *Syllabus de la asignatura mecánica de suelos*, 2015.
- [25] Díaz-Barriga, F., Cognición situada y estrategias para el aprendizaje significativo, *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 5(2), pp. 1-12, 2003.
- [26] Greeno, J.G., Learning in activity, in: *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*, Sawyer, K., Ed., St. Louis, Washington University, 2006, pp. 79-96.
- [27] Johri, A. and Olds, B., Situated engineering learning: Bridging engineering education research and the learning sciences, *Journal of Engineering Education*, 100(1), pp. 151-185, 2011. DOI: 10.1002/j.2168-9830.2011.tb00007.x
- [28] Zareba, M., Schuh, A. and Camelio, J., Accelerated Problem solving sessions in university laboratory settings, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24(3), pp. 517-526, 2013. DOI 10.1007/s10845-011-0558-9

- [29] Mitchell, J.E., Canavan, B. and Smith, J., Problem-based learning in communication systems: Student perceptions and achievement, *IEEE Transactions on Education*, 53(4), pp. 587-594, 2010. DOI: 10.1109/TE.2009.2036158
- [30] Flores, J.M. Caballero, C. y Moreira, M.A., El laboratorio en la enseñanza de las ciencias: Una visión integral en este complejo ambiente de aprendizaje, *Revista de Investigación*, 33(58), pp. 75-111, 2009.
- [31] Couto-Marques, J.M., Experimental, numerical and virtual tools in civil engineering, de *Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Amman, 2011. DOI: 10.1109/EDUCON.2011.5773293
- [32] Gibbins, L. and Perkin, G., *Laboratories for the 21st Century in STEM Higher Education*, Loughborough: Loughborough University, 2013.
- [33] Rosado, L. y Herreros, J.R., Aportaciones didácticas de los laboratorios virtuales y remotos en la enseñanza de la física, de *Congreso TAAE Tecnología Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica*, Valencia, 2004.
- [34] White, R., The link between the laboratory and learning, *International Journal of Science Education*, 18(7), pp. 761-774, 1996. DOI: 10.1080/0950069960180703
- [35] Lévy, P., *Cibercultura. La cultura de la sociedad digital*, Barcelona: Antrophos, 2007.
- [36] Scolari, C., Interfaces para saber, interfaces para hacer. Las simulaciones digitales y las nuevas formas del conocimiento, en: *Educomunicación: más allá del 2.0*, Barcelona, Gedisa, 2010, pp. 225-250.
- [37] Chamizo, J.A. e Izquierdo, M., Evaluación de las competencias de pensamiento científico, *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 51, pp. 9-19, 2007.
- [38] Ávila-Fajardo, G.P. y Riascos-Erazo, S.C., Propuesta para la medición del impacto de las TIC, *Revista Educación y Educadores*, 14(1), pp. 169-188, 2011.
- [39] Leal, D., Evaluación de aprendizaje en entornos en línea, abiertos y distribuidos, en: *La educación superior a distancia y virtual en Colombia: Nuevas realidades*, Arboleda-Toro, N. y Rama-Vitale, C., Eds., Bogotá, Virtual Educa; ACESAD, 2013, pp. 155-174.
- [40] Álvarez-Álvarez, C. y San Fabián-Maroto, J.L., La elección del estudio de caso en investigación educativa, *Gazeta de Antropología*, 28(1), pp. 1-12, 2012.
- [41] Aktam-Takin, N. and Vatansever, F., A Web-based virtual power electronics laboratory., *Computer Application in Engineering Education*, 24, pp. 71-78, 2016. DOI: 10.1002/cae.21673
- [42] Bandura, A., Guide for constructing self-efficacy scales, in: *Self efficacy beliefs of adolescents*, Colorado, University of Colorado School University, 2006, pp. 307-337.
- [43] Bryman, A., *Social research methods*, Oxford: Oxford University Press, 2008.
- [44] SNIES, *Matriculados en educación superior 2015*, 2015.
- J.E. Colmenares**, es Ing. Civil en 1989 y MSc. en Geotecnia en 1996, de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá; MSc. y DIC en 1997 y Dr. of Philosophy en 2002 del Imperial College de la Universidad de Londres, Reino Unido. Es profesor titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, en donde desarrolla actividades académicas desde 1992. Sus intereses de investigación están concentrados en el estudio experimental del comportamiento mecánico de los suelos, la mecánica de suelos no-saturados y en la enseñanza de la Ingeniería.  
ORCID: 0000-0002-1485-0327
- N.R. Héndez**, es Psicóloga en 2004 de la Universidad Santo Tomás, Bogotá; Esp. en Desarrollo Humano con Énfasis en Procesos Afectivos y Creatividad en 2007 de la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Bogotá; y MSc en Investigación en Didáctica, Formación y Evaluación Educativa en la Universidad de Barcelona, Barcelona. Es miembro de SOLACyT Capítulo Colombia. Ha sido asesora pedagógica de diferentes proyectos de educación superior y extensión en la Universidad Nacional de Colombia, Universidad Católica y Universidad Central, Bogotá, Colombia. Sus intereses investigativos incluyen: incorporación de TIC para la enseñanza y el aprendizaje; formación científica; formación docente, educación superior.  
ORCID: 0000-0002-5339-4408
- J. Celis**, recibió el título de Sociólogo en 2001, el título de MSc. en Sociología en 2003 de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia y el título de MSc. en Estudios Comparados e Internacionales en Educación en 2015 de la Universidad de Estocolmo, Estocolmo, Suecia. Ha trabajado como consultor para COLCIENCIAS, Ministerio de Educación Nacional, Banco Mundial, entre otros. Ha sido investigador en las Universidades Nacional de Colombia y Andes. Sus intereses investigativos incluyen: formación doctoral; inserción de doctores al sector productivo; transferencia tecnológica; educación media.  
ORCID: 0000-0003-0410-5953

# Propuesta metodológica para identificar el valor agregado de programas de ingeniería a partir del análisis de resultados de pruebas estandarizadas

Andrés Felipe Monroy-Mateus <sup>a</sup>, Catalina Aguirre-Lara <sup>a</sup> & Anny Astrid Espitia-Cubillos <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad El Bosque, Bogotá D.C, Colombia. [Amonroy@unbosque.edu.co](mailto:Amonroy@unbosque.edu.co), [Caguirrel@unbosque.edu.co](mailto:Caguirrel@unbosque.edu.co)

<sup>b</sup> Programa de ingeniería Industrial; Universidad Militar Nueva Granada y Facultad de Ingeniería, Universidad El Bosque, Bogotá D.C, Colombia. [anny.espitia@unimilitar.edu.co](mailto:anny.espitia@unimilitar.edu.co)

**Resumen**— El Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES), tiene entre sus objetivos evaluar, mediante exámenes estandarizados, la formación ofrecida en los diferentes niveles educativos. Lo que da paso a la identificación del Valor Agregado (VA), que permite conocer el aporte de cada institución al desarrollo de las competencias de sus estudiantes. Es importante conocer el desempeño en competencias, para crear estrategias en pro del mejoramiento continuo. La metodología planteada para hallar el VA consiste en tres etapas: la primera es contrastar la estructura de las pruebas Saber 11 y Pro, la segunda, realizar un tratamiento de datos para obtener el VA y contrastarlo con otras variables, la tercera comparar los resultados de VA frente a los obtenidos por el grupo de referencia de ingeniería y a una Universidad referente, que puede ser determinada como la mejor en su área de acuerdo a algún ranking representativo.

**Palabras Clave**— Educación media; educación superior; pruebas de estado; desempeño académico; valor agregado (VA); competencias genéricas.

Recibido: 3 de octubre de 2017. Revisado: noviembre 24 2017. Aceptado: 28 de diciembre de 2017.

## Methodological proposal to identify the value-added of engineering programs based on the analysis of standardized test results.

**Abstract**— The Colombian Institute for the Promotion of Higher Education (ICFES) has to object, to evaluate the training offered by institutions at different educational levels, through standardized tests. Across this direction, it gives way to the identification of Value-Added (VA), which allows knowing the contribution of the institution to the development of the skills of its students. It is vital to know the performance in these skills, to create strategies for continuous improvement. The methodology proposed in this article consists of three stages: The first one, is to identify the structure of the Saber (11 and Pro) tests, the second one, to perform a data treatment of these tests to obtain the VA, and to compare it with other variables. The third one to compare the results of VA compared to the hypothesis raised about the best University of Colombia in Engineering according to some representative ranking.

**Keywords**— High school; higher education; state tests; academic performance; value-added; generic competences.

## 1. Introducción

Para llevar a cabo un mejoramiento continuo en cualquier proceso, es necesario identificar el impacto que genera su

actividad principal, puesto que una escuela eficaz es aquella que promueve de forma duradera el desarrollo integral de cada uno de sus estudiantes más allá de lo que sería previsible, teniendo en cuenta su rendimiento inicial [1,2].

La investigación sobre la calidad de la educación fue motivada en gran medida por el hecho de que el “valor añadido” de una institución al desarrollo de los estudiantes varía entre ellas [3].

Para este caso, se propone una metodología generalizable que identifica el Valor Agregado que se genera en la educación formal universitaria, establecida a partir de un caso de estudio que corresponde al programa de Ingeniería de una Universidad privada en la ciudad de Bogotá, sobre los estudiantes graduados en los periodos 2013-2, 2014-1 y 2014-2.

Los modelos de VA incorporan medidas de aprovechamiento previo y características contextuales de los alumnos, lo que permite un análisis más refinado del progreso del desempeño y resulta más eficaz para desentrañar los efectos de diversos factores que afectan su avance [4], por ello se tuvieron en cuenta la permanencia y el promedio ponderado acumulado de los estudiantes en su paso por la universidad, y se determinó la correlación de éstas con los resultados del VA, pues de esta manera se complementa la evaluación que determina si el proceso educativo que lleva a cabo la universidad es eficiente o por el contrario, no genera impacto en los estudiantes [5,6].

Los modelos de VA pueden contribuir a:

1. Identificar con precisión los aspectos de mayor y menor desempeño.
2. Identificar los procesos de mejora.
3. Desarrollar sistemas de información que les permitan a las instituciones determinar su desempeño y mejorar su sistema de evaluación.
4. Establecer prioridades para la asignación de recursos a las áreas críticas, entre otros [4].

La cuantificación del valor agregado se establece como la forma de medir cuanto aporta una institución a las competencias

**Como citar este artículo:** Monroy-Mateus, A.F., Aguirre-Lara, C. and Espitia-Cubillos, A.A., Propuesta metodológica para identificar el valor agregado de programas de ingeniería a partir del análisis de resultados de pruebas estandarizadas. Educación en Ingeniería, 13(25), pp. 102-107, Febrero, 2018.

de sus estudiantes, en donde las pruebas de estado son vistas como un referente acertado para llevar a cabo este análisis e incluso como una forma de predecir el posible rendimiento de los estudiantes cuando pasan de una etapa académica a otra [7]. Todo lo anterior va en pro de identificar, en la comparación de los resultados obtenidos en dichas pruebas de estado, las oportunidades de mejora para seguir brindando calidad en la educación a los estudiantes, que constituye uno de los compromisos que adquiere una universidad socialmente responsable.

Es así como se establece la comparación de resultados obtenidos antes y después del proceso formativo que reciben los estudiantes, analizando las pruebas nacionales de evaluación de competencias, conocidas como pruebas Saber (11 y Pro), las cuales son pruebas estandarizadas, en la medida en que las condiciones de aplicación y el procesamiento de los resultados son uniformes, garantizando la objetividad de los mismos, para obtener así, mediciones equivalentes y robustas de poblaciones e instituciones diversas que permiten la realización de análisis comparativos, incluso en distintos momentos del tiempo [8].

Cabe resaltar que son escasas las investigaciones realizadas en Colombia acerca de los resultados de las pruebas nacionales de calidad y la relación con la formación universitaria, sin embargo dentro de los antecedentes se destaca un estudio por el abordaje de las pruebas de estado para determinar el VA de los programas de ingeniería de una misma universidad, es el realizado por la Universidad Nacional, en el que se analiza el valor agregado académico que proporcionan las instituciones a sus estudiantes, este estudio intenta comprobar la siguiente hipótesis: “Un proyecto educativo es relevante y trascendental cuando puede aportar valor académico agregado a sus estudiantes, en mayor proporción que lo observado en otras personas formadas mediante otros proyectos educativos” [9]. Con el fin de aceptar o rechazar dicha hipótesis, su autor realiza un modelo que analiza los resultados de la prueba Saber 11 como línea de base o variable de entrada y los resultados del Saber Pro como variable de salida, además de comparar los puntajes obtenidos por los demás programas de ingenierías del país. Con ello se logra destacar el alto impacto en la comunidad académica a nivel del estudiante y de la universidad ya que son empleados como indicadores de fortalezas y debilidades de los procesos de formación [10].

## 2. Propuesta metodológica

El diseño de la metodología para el estudio del Valor Agregado (entendido como una medida de la calidad de la educación) consiste en tres pasos: El primero está basado en conocer la estructura de las pruebas Saber 11 y Pro, el segundo en realizar tratamiento de datos para obtener el VA entre estas dos pruebas y contrastar los resultados con otras variables y la tercera, comparar los resultados de VA con respecto a los resultados obtenidos por el grupo de referencia de ingeniería y de una universidad referente.

Para comenzar; la estructura de las pruebas de estado se encuentra estandarizada por el ICFES, pues son exámenes que comparten sus características, permitiendo así la realización de análisis comparativos pese a que el nivel de formación no sea el

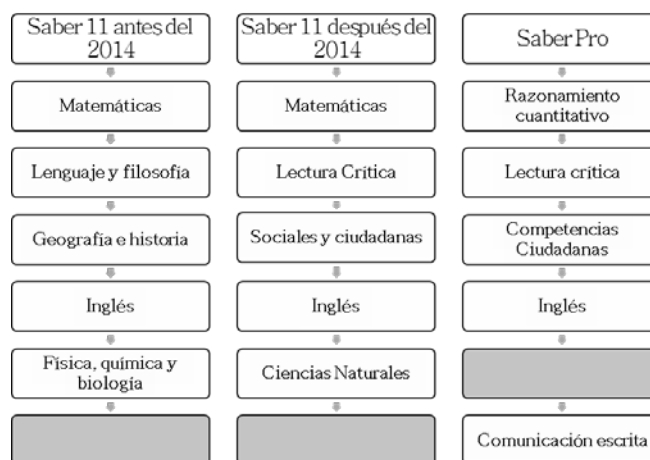


Figura 1. Equivalencia propuesta entre componentes de Saber 11 y Pro.  
Fuente: Los autores

mismo. En la Fig. 1, se observa cómo se propone el proceso de comparación entre componentes de las pruebas Saber 11 y Pro. Para ésta primera se agruparon las sub-pruebas de acuerdo a la estructura que se adoptó después del año 2014, con el fin de llevar a cabo la adecuada equivalencia entre componentes, ya que la información que se empleó para este estudio es previa a ésta fecha; sin embargo el componente de comunicación escrita y el de Ciencias Naturales no tienen homólogo en Saber 11 y Pro, respectivamente, por tanto no se tuvieron en cuenta dentro del estudio.

El segundo paso consiste en realizar el tratamiento de datos, para poder llevar a cabo la comparación de los resultados por componente entre ambas pruebas, para ello se realizaron los siguientes pasos:

1. Realizar un promedio simple de los puntajes de los componentes que se van a tener en cuenta y que según la nueva estructura contienen más de una prueba, como es el caso de: Sociales y Competencias Ciudadanas y Lectura Crítica.
2. Ahora que se posee un solo resultado por componente, cada uno de estos son divididos entre el valor máximo del puntaje respectivo, para hallar el porcentaje de desempeño de los estudiantes frente a cada prueba.
3. Finalmente se calcula la diferencia entre el porcentaje de desempeño de cada uno de los componentes entre la prueba Saber 11 y la prueba Saber Pro para cada uno de los estudiantes, determinando así el valor agregado que aportó la universidad de manera individual.

El resultado del proceso anterior se encuentra dado en términos de porcentaje, es decir, el máximo valor alcanzado es 100%, pero no se posee un referente que permita la respectiva comparación y con ello se establezca una posición relativa para los resultados obtenidos por la Universidad objeto de estudio, por ello en el tercer paso se propone seleccionar los resultados promedio en las pruebas Saber PRO con respecto a los obtenidos por el grupo de referencia de ingeniería (definido por el ICFES) y otra universidad referente, que puede ser determinada como la mejor en su área de acuerdo a algún ranking representativo, en donde se asume que para dicha universidad, los resultados del examen Saber 11 son iguales de

la universidad objeto de estudio (elemento que necesariamente no corresponde a la realidad, pero que sirve como punto de referencia para establecer comparaciones) como una solución a la escasez de información.

Es posible identificar la correlación entre los resultados del valor agregado individual con otras variables como: Permanencia y promedio ponderado acumulado. Para hacer posible ésta correlación es necesario utilizar la prueba de normalidad de datos Kolmogorov-Smirnov [11]. Esta prueba indica si la muestra de datos que se tiene, se puede comportar como lo hace el total de la población al momento de generalizar los resultados.

Para el estudio desarrollado en este artículo se plantearon dos hipótesis una de normalidad y otra de anormalidad, en donde la prueba de Kolmogorov-Smirnov, permitió conocer que los datos eran anormales y por lo tanto el método usado para realizar la correlación entre variables, fue Spearman [12]. Para utilizar este método de correlación también se plantearon dos hipótesis, siendo estas la existencia o ausencia de correlación entre las variables estudiadas. Dichas variables hacen referencia a los datos del valor agregado hallado previamente, y los datos de permanencia y promedio ponderado acumulado que se poseía (ambos obtenidos para cada estudiante incluido en la muestra poblacional), permitiendo así determinar si otros factores afectan los resultados del VA.

Finalmente, en la Fig. 2 se puede observar el diagrama de flujo que representa los pasos a seguir para hallar el VA en las instituciones de educación superior.

### 3. Análisis de resultados

#### 3.1. Identificación del Valor agregado

Se tomó como caso de estudio un programa de pregrado en ingeniería de una universidad privada de la ciudad de Bogotá-Colombia, a la cual se le aplicó la propuesta metodológica y al conocer el valor agregado (diferencia entre Saber 11 y Pro) por cada estudiante frente a cada uno de los componentes, se calcularon las medidas de centralización y dispersión, relacionadas en la Tabla 1.

Se encontró que el programa de Ingeniería, genera en promedio un 18% de valor agregado a sus estudiantes durante toda la carrera, sin embargo, el valor agregado es atribuido por cada componente de la siguiente manera: Razonamiento cuantitativo obtuvo un VA de 14%, lo cual lo posiciona en el último lugar, seguido de competencias ciudadanas con un 16%. Para el caso de inglés y lectura crítica el promedio de agregar valor fue del 20%, siendo estos los componentes en los que la Universidad más aportó a los estudiantes; de igual forma, para conocer cuál de estos poseía mayor desempeño, se observó que lectura crítica poseía dentro de sus resultados el valor agregado más alto de todo el programa con un 45%.

A partir del 6 de septiembre de 2015 es posible consultar en la página web del ICFES el reporte de aporte relativo la proporción de estudiantes con valor agregado del grupo de referencia Ingeniería, para el caso de estudio en la Fig. 3 se observa un incremento en la proporción de estudiantes con valor agregado.

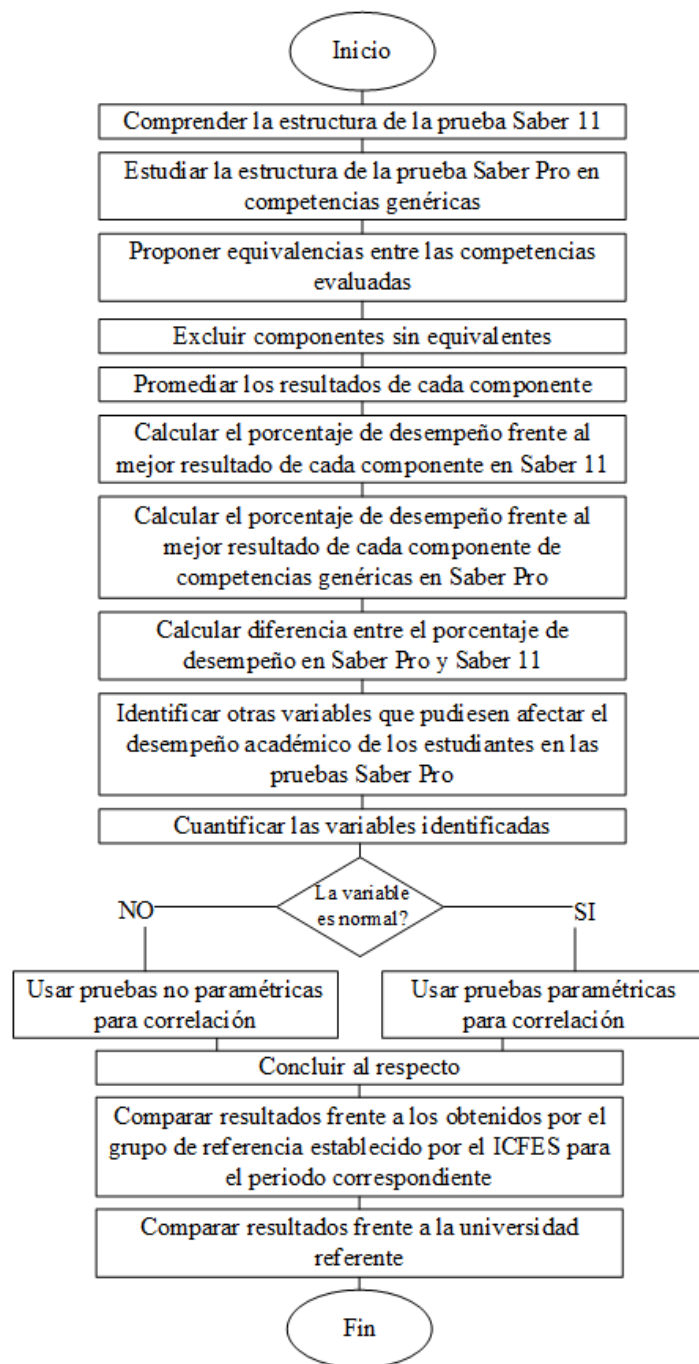


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso para identificar el VA  
Fuente: Los autores

Tabla 1  
Medidas de centralización y dispersión del valor agregado por componentes.

	Razonamiento cuantitativo	Lectura crítica	Competencias ciudadanas	Inglés
<b>Media</b>	14%	20%	16%	20%
<b>Moda</b>	12%	35%	13%	19%
<b>Varianza</b>	1%	0%	0%	1%
<b>Desviación</b>	7%	7%	7%	9%
<b>Min</b>	-7%	5%	-1%	-3%
<b>Max</b>	30%	45%	42%	40%

Fuente: Los autores

### 3.2. Comparación de Valor Agregado entre universidades

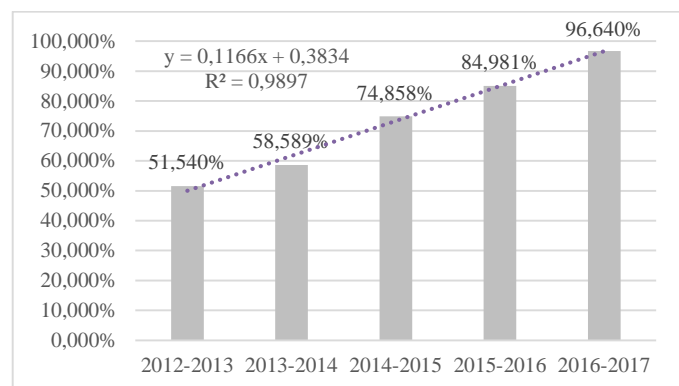


Figura 3. Incremento en la proporción de estudiantes con valor agregado del grupo de referencia Ingeniería de la Universidad caso de estudio.

Fuente: Los autores, usando datos reales de 2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015, y proyecciones lineales para los periodos 2015-2016 y 2016-2017 con base en información de [13-15].

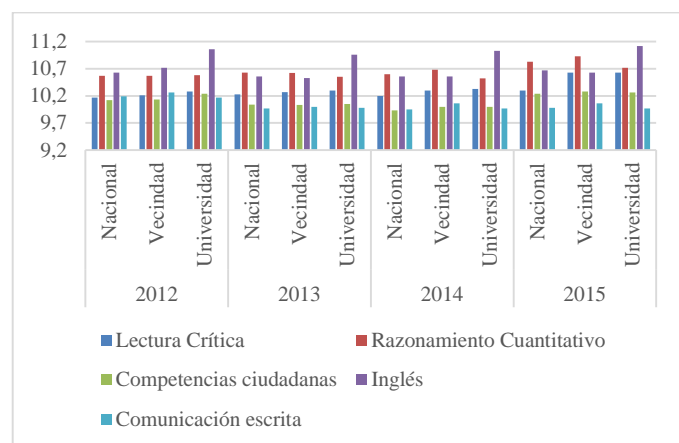


Figura 4. Contraste resultados Saber Pro con resultados nacionales, grupos de referencia y facultad de Ingeniería de la Universidad caso de estudio.

Fuente: Los autores, a partir de los datos tomados de [13-15].

En la Fig. 4 se presenta gráficamente el contraste entre los resultados obtenidos en cada competencia genérica por la universidad caso de estudio con los resultados promedio a nivel nacional y en su grupo de referencia (vecindad) desde 2012 hasta 2015.

Tabla 2

Valor agregado frente a la Universidad referente

Componente	Universidad	Saber 11	Saber Pro	Valor agregado	Porcentaje de valor agregado frente al de la universidad de referencia	Oportunidad de Agregar Valor
<b>Razonamiento cuantitativo</b>	Universidad de estudio	0,49	0,63	0,14	61%	39%
	Universidad referente	-	0,72	0,23		
<b>Lectura crítica</b>	Universidad de estudio	0,49	0,69	0,20	77%	23%
	Universidad referente	-	0,75	0,26		
<b>Inglés</b>	Universidad de estudio	0,53	0,73	0,20	54%	46%
	Universidad referente	-	0,90	0,37		
<b>Competencias ciudadanas</b>	Universidad de estudio	0,49	0,65	0,16	73%	27%
	Universidad referente	-	0,71	0,22		
<b>Valor agregado promedio</b>	Universidad de estudio	0,50	0,68	<b>0,18</b>	<b>65%</b>	<b>35%</b>
	Universidad referente	-	0,77	<b>0,27</b>		

Fuente: Los autores

El resultado del Valor agregado es el reflejo de un análisis interno para la universidad objeto de estudio, sin embargo para establecer metas de mejoramiento se compara frente al que genera la Universidad referente, catalogada como la mejor universidad de Colombia en Ingeniería, según los resultados promedio de sus estudiantes en las pruebas Saber Pro [16].

El presente análisis parte del hecho en donde los resultados del examen Saber 11, de los estudiantes de la Universidad referente y la universidad objeto de estudio, son los mismos.

La comparación se realiza frente a los resultados obtenidos en el examen Saber Pro de los estudiantes de la universidad referente, como se muestra en la tabla 2.

Si se observa detalladamente, un 18% de valor agregado promedio, parecería un valor relativamente bajo con respecto a un 100%, pero si se compara frente a los resultados de las pruebas Saber Pro de la Universidad referente, en donde hipotéticamente la agregación de valor de esta universidad es de 23% (este valor podría ser menor si el nivel de los estudiantes que ingresan a dicha institución tienen mejores resultados en las pruebas Saber 11), se podría concluir que la universidad privada objeto de estudio, aporta un 65% de lo que lo hace la Universidad referente, es decir que existe en promedio la oportunidad de agregar valor equivalente hasta al 35%.

Análisis de este tipo son recomendables a aquellas instituciones que deseen aplicar la metodología propuesta.

### 3.3. Influencia de otros factores sobre el valor agregado

Para el presente estudio se tuvo en cuenta el impacto de dos factores: permanencia y promedio ponderado acumulado para cada estudiante considerado. El tiempo de permanencia se calculó como la diferencia entre la fecha de grado y la fecha de ingreso a la universidad, razón por la cual no es posible hacer el análisis para estudiantes no graduados.

En la tabla 3 se muestra el estudio realizado para el factor permanencia, en donde a través del método de Coeficiente de correlación de Spearman se evidencia que la probabilidad de error es mayor al 5%, es decir, se acepta la hipótesis en donde las variables no poseen correlación y Rho confirma este resultado con los bajos niveles de correlación mostrados.

Tabla 3  
Correlación entre permanencia y valor agregado de los componentes

Componente	Razonamiento cuantitativo	Lectura crítica	Competencias ciudadanas	Inglés
Rho	-0.11	0.01	0.02	-0.01
P (probabilidad de error)	0.19	0.88	0.78	0.86

Fuente: Los autores

Tabla 4  
Correlación entre promedio ponderado acumulado y valor agregado de los componentes

Componente	Razonamiento cuantitativo	Lectura crítica	Competencias ciudadanas	Inglés
Rho	0.10	-0.02	0.00	-0.08
P (probabilidad de error)	0.25	0.78	0.95	0.37

Fuente: Los autores

El mismo caso se presenta para promedio ponderado acumulado, como se observa en la tabla 4.

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

La propuesta metodológica planteada no sólo permite conocer, de manera objetiva, el aporte que genera una institución de educación superior a sus estudiantes, sino identificar cuáles son las competencias en las que deben mejorar para proponer estrategias que les permitan brindar una educación de mejor calidad y preparar sus estudiantes con mejores competencias y habilidades para enfrentar los retos a los que se encuentra expuesto un profesional en la vida laboral.

Para la universidad objeto de estudio, este análisis le permitió diseñar e implementar acciones concretas enfocadas en aumentar la calidad de la formación que se está brindando. Principalmente si se parte del hecho que el análisis fue basado en los resultados de Saber Pro de estudiantes de Ingeniería Industrial, es preocupante considerar que la competencia en la que menos se aporta valor es razonamiento cuantitativo, puesto que es uno de los pilares de cualquier ingeniería y debería ser una de las competencias más fuertes y en las que más se debe enfocar la universidad para educar a los ingenieros. Sin embargo al comparar los resultados de la universidad estudiada frente a la universidad referente el panorama no difiere en gran medida puesto que la segunda competencia más débil sigue siendo razonamiento cuantitativo. Teniendo en cuenta lo anterior se evidencia un problema que probablemente puede ser colectivo y en el cual se deberían proponer iniciativas que rompan los esquemas de la forma actual como se lleva a cabo la formación en esta competencia en los distintos programas de ingeniería.

De otro lado, una vez calculados los valores individuales de valor agregado es posible identificar la presencia de correlaciones con otras variables conocidas por la institución, lo que permitirá la construcción de planes de mejoramiento más integrales, robustos e incluyentes.

Se recomienda utilizar herramientas de ingeniería como diagrama de Ishikawa y diagrama de Pareto para priorizar las competencias con mayores necesidades de fortalecimiento y así

poder comenzar por mejorar aquellas que se encuentran más débiles para lograr un mayor impacto al comenzar a plantear los cambios necesarios para el mejoramiento continuo.

Podría llevarse a cabo este mismo tipo de análisis en otros programas de la misma institución para comparar los resultados obtenidos a nivel interno que permitan hacer propuestas de mejoramiento no sólo a nivel de programas, sino a nivel de facultades y/o institución aplicando técnicas como el análisis envolvente de datos (DEA), si el número de programas existentes así lo permite. Lo que da lugar a posibles investigaciones futuras en el área considerando no sólo variables de egreso sino también de ingreso.

Por otra parte es pertinente realizar un benchmarking que permita observar, desde el exterior de la institución analizada, como se encuentran las demás de su categoría para conocer el panorama, saber si las fallas son comunes y crear alianzas estratégicas que permitan superar las debilidades, dejando de ver la educación como una competencia entre instituciones sino como una posibilidad que favorece la cooperación constante para lograr una mejor calidad en la educación colombiana.

#### Referencias

- [1] Murillo, F.J., Hacia un modelo de eficacia escolar. Estudio multinivel sobre los factores de eficacia en las escuelas españolas., Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación, 6(1), pp. 4-28, 2008.
- [2] Barrera-Osorio, F., Maldonado, D. y Rodríguez, C., Calidad de la educación básica y media en Colombia: Diagnóstico y propuestas, Tesis de grado, Universidad del Rosario, Bogotá Colombia, 2012.
- [3] Valens-Upegui, M.P., Calidad de la educación superior en Colombia: Un análisis multinivel con base en el ECAES de economía 2004, en: Documento de Trabajo no. 99. CIDSE - Centro de Investigaciones y Documentación Socioeconómica, Colombia. [en línea]. 2007. Disponible en: <http://biblioteca.clacso.edu.ar/ar/libros/colombia/cidse/Doc99.pdf>
- [4] Isáziga-David, C.H., Gabalán-Coello, J. y Vásquez-Rizo, F.E., La intervención académica en la construcción de una sociedad con calidad: Análisis del valor agregado en el proceso formativo colombiano, Revista Universidad Santo Tomás, 22, pp. 359-384, 2014.
- [5] Correa, J.J., Determinantes del rendimiento educativo de los estudiantes de secundaria en Cali: Un análisis multinivel, Revista Sociedad y Economía, 6, pp. 81-105, 2004.
- [6] Sarmiento-Espinel, J.A. y Sandoval-Garrido, L.E., Análisis descriptivo de los resultados de los ECAES en economía (2004-2006), Revista de la Facultad de Ciencias Económicas, 16(2), pp. 79-104, 2008.
- [7] Duque-Castillo, A. y Ortiz-Rodríguez, J.G., Pruebas ICFES Saber 11 y su relación con el desempeño académico en estudiantes de primer semestre de psicología., Cuadernos Hispanoamericanos de Psicología, 13(1), pp. 26-35, 2013.
- [8] ICFES, Alineación del examen Saber 11, diciembre 2013. [en línea]. Disponible en: [www.icfes.gov.co](http://www.icfes.gov.co).
- [9] Bogoya, D., Impacto académico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá, Ingeniería e Investigación, 31(1), pp. 29-39, 2011.
- [10] Gil, F.A., Rodríguez, V.A., Sepúlveda, L.A., Rondón, M.A. y Gómez Restrepo, C., Impacto de las Facultades de Medicina y de los estudiantes sobre los resultados en la prueba nacional de calidad de la educación superior (SABER PRO), Revista Colombiana de Anestesiología, 41(3), pp. 196-204, 2013. DOI: 10.1016/j.rca.2013.04.003
- [11] Universidad de Valencia, 18 04 2011. [En línea]. Disponible en: <http://www.uv.es/~friasnav/SupuestosParametrica.pdf>.
- [12] Bernal-Morell, E., Bioestadística básica para investigadores con SPSS, Madrid, España: Bubok publishing S.L, 2013.

- [13] ICFES, Reportes de resultados Saber Pro, medidas de aporte relativo y otros indicadores de calidad educativa, 6 septiembre 2016. [En línea]. [Último acceso: 3 agosto 2017]. Disponible en: <http://www.icfes.gov.co/instituciones-educativas-y-secretarias/saber-pro/resultados-ies/reporte-aporte-relativo>.
- [14] ICFES, Información de Instituciones por grupo de referencia, 6 Septiembre 2015. [En línea]. [Último acceso: 3 agosto 2017]. Disponible en: <http://www.icfes.gov.co/instituciones-educativas-y-secretarias/saber-pro/resultados-ies/reporte-aporte-relativo>.
- [15] ICFES, ¿Por qué los reportes son por grupos de referencia?, 6 Septiembre 2016. [En línea]. [Último acceso: 3 agosto 2017]. Disponible en: <http://www.icfes.gov.co/instituciones-educativas-y-secretarias/saber-pro/resultados-ies/reporte-aporte-relativo>.
- [16] Revista Dinero, Mejores universidades de Colombia en ingeniería 2017, Dinero, 2017.
- A.F. Monroy-Mateus**, recibió el título de Bachiller en 2010, del Colegio Seminario Diocesano de Duitama, trabajó en el Banco de Occidente en el área de planeación comercial, unidad de relación, banca personal. Actualmente es estudiante de X semestre de Ing. Industrial de la Universidad El Bosque. Bogotá D.C. Colombia. Sus intereses investigativos incluyen: calidad en la educación y procesos de mejora continua.  
ORCID: 0000-0003-3064-6083
- C. Aguirre-Lara**, recibió el título de Bachiller en 2011, del Colegio Nuestra Señora del Pilar, trabaja en el Banco de Occidente, dirigiendo proyectos de tecnología, con énfasis en planeación comercial de tarjeta de crédito y libranza. Actualmente es estudiante de X semestre de Ing. Industrial de la Universidad El Bosque. Bogotá D.C. Colombia. Sus intereses investigativos incluyen: Calidad en la educación y procesos de mejora continua.  
ORCID: 0000-0002-8110-2492
- A.A. Espitia-Cubillos**, recibió el título de Ing. Industrial en 2002 de la Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia; se graduó como MSc. en Ingeniería Industrial en 2006 de la Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia; actualmente es estudiante de Doctorado en Ingeniería de la Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. Desde 2004 es profesora universitaria. Se vinculó como docente de tiempo completo de Ingeniería Industrial a la Universidad Militar Nueva Granada en el año 2007, donde es profesora titular desde 2016, adicionalmente es coordinadora de investigaciones en el programa de ingeniería industrial de la Universidad El Bosque desde 2015. Sus intereses investigativos incluyen métodos cuantitativos y responsabilidad social.  
ORCID: 0000-0002-4791-0250



# Consideraciones de los programas de formación de alto nivel en la política nacional de ciencia y tecnología en Colombia

Mónica Patricia Heredia-Campo <sup>a</sup> & Duván Javier Mesa-Fernández <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. [monicaheredia@usantotomas.edu.co](mailto:monicaheredia@usantotomas.edu.co)

<sup>b</sup> Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. [duvanmesa@usantotomas.edu.co](mailto:duvanmesa@usantotomas.edu.co)

**Resumen**— El presente artículo analiza la evolución de las fases y etapas en el ciclo de la Política Nacional de Ciencia y Tecnología (PNCT) de Colombia, específicamente el programa de Formación de Alto Nivel de capital humano y su aporte a los indicadores de desarrollo del país. Se revisan las relaciones de la organización institucional y elementos de gobernanza para el avance de la PNCT, así como los principales hitos desde 1940 a la fecha. Se describen algunos de los elementos de política pública e iniciativas del gobierno nacional en la promoción de estrategias para la formación de personal con vocación científica y su incidencia en la competitividad y la innovación. Luego de la implementación de los programas e instrumentos de política pública se identifican impactos socioculturales y económicos en el marco del cumplimiento de los objetivos estratégicos del país y la posible coherencia conceptual en el ciclo de la política.

**Palabras Clave**— Política pública; ciencia y tecnología; formación de alto nivel.

Recibido: 24 de septiembre de 2017. Revisado: 12 de diciembre de 2017.  
Aceptado: 22 de diciembre de 2017.

## Considerations of the high level training program in the national science and technology policy in Colombia

**Abstract**— This article analyzes the evolution of the phases and stages in the National Science and Technology Policy (PNCT) cycle in Colombia, specifically the High Level Human Capital Training program and its contribution to the country's development indicators. The relationships of the institutional organization and elements of governance for the progress of the PNCT, as well as the main milestones from 1940 to the present, are reviewed. Some of the elements of public policy and initiatives of the national government are described in the promotion of strategies for the training of personnel with a scientific vocation and their impact on competitiveness and innovation. Following the implementation of the public policy programs and instruments, socio-cultural and economic impacts are identified in the framework of the fulfillment of the country's strategic objectives and possible conceptual coherence in the policy cycle.

**Keywords**— Public policy; Science and technology; higher education.

## 1. Antecedentes y Contextualización

La política de Ciencia, tecnología e Innovación en Colombia ha constituido un proceso que según Colciencias ha tenido 3 etapas: I. de 1968 a 1989 dedicada a la construcción de fundamentos; II. de 1990 a 1999 en la cual se definen lineamientos para la Política Nacional de Ciencia y Tecnología (PNCT) y se organiza el Sistema de Ciencia y Tecnología (SCT); Y III. 2000 a la fecha, se fortalece el

desarrollo regional a través de políticas integrales descentralizadas e internacionalización de la actividad científica y de la innovación [1]. Estas etapas y su desarrollo se pueden observar de manera más detalladas en la Tabla 1: Hitos de la Política y legislación de Ciencia, Tecnología e Innovación de 1940 a 2017.

Recientemente se conformó el Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCCTeI) como “un conjunto de leyes, políticas, estrategias, metodologías, técnicas y mecanismos, que implica la gestión de recursos humanos, materiales y financieros de las entidades de la administración pública en coordinación con los del sector privado, así como las entidades del Estado responsables de la política y de la acción en los temas relacionados con la política competitividad, productividad e innovación” [2], cuya gobernanza se observa en la Fig. 1.

El SNCCTeI está coordinado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colciencias, que cuenta con los Consejos de los Programas Nacionales de Ciencia y Tecnología, los Consejos Departamentales de Ciencia, Tecnología e Innovación y el Consejo Asesor de Ciencia, Tecnología e Innovación, para articular el sistema a través de un modelo intersectorial.

La Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (PNCTI) de 2009, Documento CONPES 3582 [1], define seis (6) estrategias para el logro del objetivo de incrementar la capacidad del país para generar y usar conocimiento científico y tecnológico, como vía para el desarrollo y crecimiento económico del país:

1. Fomento y promoción de la innovación en el aparato productivo mediante instrumentos con recursos y capacidad para apoyar a empresarios e innovadores.
2. Fortalecimiento de la institucionalidad del SNCCTeI)
3. Fortalecimiento del Recurso Humano para la investigación y la innovación
4. Apropiación social del conocimiento
5. Focalización de la acción del estado en la producción de bienes y servicios de alto contenido científico y tecnológico
6. Desarrollo y fortalecimiento de las capacidades en CTeI.

**Como citar este artículo:** Heredia-Campo, M.P. and Mesa-Fernández, D.J., Consideraciones de los programas de formación de alto nivel en la política nacional de ciencia y tecnología en Colombia. Educación en Ingeniería, 13(25), pp. 108-116, Febrero, 2018.

Tabla 1  
Hitos de la Política y la legislación de Ciencia, Tecnología e Innovación de 1940 a 2017

Año	1.1.1	Nombre	1.1.2	Descripción
1940 a 1967	1.1.3	Antecedentes a la política		Creación en 1958 del Consejo Nacional de Política Económica y Planeación en 1968 (actuales Departamento Nacional de Planeación -DNP- y el Consejo Nacional de Política Económica y Social -CONPES-) La C&T no se planteaba como objetivo explícito de la política económica y social en los planes y programas oficiales Creación de institutos descentralizados del Estado investigación de forma aislada (ICETEX, Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Instituto Caro y Cuervo, ICA, SENA, INCORA, Instituto de Asuntos Nucleares, entre otros).
1968	1.1.4	Decreto 2869		Conformación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, como organismo rector de la política científica y tecnológica Creación del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, Francisco José de Caldas, Colciencias, adscrito al Ministerio de Educación Nacional, encargado de la financiación, coordinación, difusión y ejecución de programas y proyectos de desarrollo científico y tecnológico. Lleras pensaba que Colombia debía dedicar importantes recursos para fomentar la investigación como política nacional, para promover investigadores, para establecer una infraestructura dirigida a la generación de pensamiento nuevo. Creación del Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior -ICFES- y el Instituto Colombiano de Cultura -Colcultura-
				Creación del <b>Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación -ICFES-</b> , entidad adscrita al Ministerio de Educación Nacional la cual está encargada de promover y evaluar la educación colombiana en todos sus niveles
1981		Convenio Incomex-Colciencias		Para el fomento de la industria de bienes de capital y se puso en marcha el mecanismo de desagregación tecnológica de los grandes proyectos de inversión del Estado. El financiamiento de programas de C&T, a través del primer crédito otorgado por el BID, se convirtió en un instrumento para modernizar sistemas de investigación y de prestación de servicios tecnológicos en el sector productivo
1988		Primera Misión de Ciencia y Tecnología		La convoca Virgilio Barco, compuesta por investigadores y asesores Colombianos con el objetivo de emitir recomendaciones para estructurar la política pública y organización institucional de Ciencia y Tecnología
1990		Ley 29		Por medio de la cual se crea el sistema de ciencia y Tecnología, Resultado de la primera Misión de Ciencia y Tecnología
		Decreto 1767		Se dicta el estatuto de Ciencia y Tecnología y se crea el Sistema nacional de Ciencia y Tecnología en su capítulo 1 (derogado por el decreto 585 de 1991)
1991		Constitución Política		Se habla indirectamente de Ciencia y Tecnología inmersas en la educación y la cultura, en artículos 67, 70 y 71 Al tener en cuenta estos conceptos permite que los Colombianos puedan abordarlos, dejando de ser exclusivos de los científicos
		Decreto 393		Por el cual se dictan normas sobre asociación para actividades científicas y tecnológicas, proyectos de investigación y creación de tecnologías
		Decreto 591		Por el cual se regulan las modalidades específicas de contratos de fomento de actividades científicas y tecnológicas
		Decreto 585		Por el cual se crea el consejo nacional de ciencia y tecnología, se reorganiza el instituto colombiano para el desarrollo de la ciencia y la tecnología -Colciencias- y se dictan otras disposiciones. (derogado luego por la ley 1286 de 2009)
1992		Ley 6		Se establecen incentivos tributarios de CyT
1993		Misión de Ciencia, Educación y Desarrollo		Sugerida por Rodolfo Llinás a Cesar Gaviria, conformada por científicos y grandes personalidades de todos los sectores (9 sabios) liderada por el sacerdote jesuita Carlos Vasco. Realizaron un documento final: "Colombia, al filo de la oportunidad" con recomendaciones en dos grandes grupos: para las organizaciones y para Ciencia y Tecnología. En el primer grupo, hicieron 5 recomendaciones generales al Gobierno Nacional, 9 recomendaciones a las organizaciones públicas y recomendaciones a la Educación: 5 para cambiar las políticas estatales, 4 para reformar el sistema educativo formal, 5 a la educación posbásica flexible, 4 para reorganizar los exámenes de estado, 9 para desescolarizar la educación ciudadana, para impulsar y 1 para reformar la educación artística, en total 7 temas, finalmente 8 en el tema de ciencia y tecnología
1994		CONPES 2739		"Política de Ciencia y Tecnología 1994-1998
		Ley 119		Por la cual se dictan disposiciones Se requiere identifican las para el fomento de la investigación necesidades de formación del científica y el desarrollo tecnológico.
1995		Ley 188		Plan de desarrollo del gobierno con inversión del 0,7% del PIB en ciencia y tecnología
1996		CONPES 2848		Complementa los lineamientos del 2739 en lo referente a: Recurso Humano, Fortalecimiento de centros de Investigación y Consolidación del sistema nacional de innovación.
		Ley 344		Establece que el 20% de los ingresos del SENA se destinen a proyectos de innovación y desarrollo tecnológico.
1997		Ley 383		Reforma tributaria que establece descuento tributario de 125% para las inversiones en proyectos de C y T y exención de IVA para importaciones de equipo científico
1999		Plan de desarrollo		Considera el tema de Ciencia y tecnología transversal a otros sectores. El presupuesto de inversión de Ciencias pasa de 70 millones de dólares a menos de 20 millones de dólares y la reducción de becas doctorales de 150 a 10 anuales.
2000		CONPES 3080		Creación del Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología OCyT es una institución del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI) dedicada a producir conocimiento sobre la dinámica y el posicionamiento del sistema mediante el diseño, producción, integración, interpretación y difusión de estadísticas e indicadores, para orientar y evaluar las políticas y la acción de los diversos actores del SNCTI. Se aprueba la Política de Ciencia y Tecnología 2000-2002. Establece lineamientos de política sin respaldo

		presupuestal adecuado, su objetivos fueron fortalecer la capacidad del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología (SNCyT), fomentar procesos de articulación entre los sectores académicos, público y privado.
	Ley 633	MODIFICA EL ARTICULO 428 del Estatuto tributario, excepción de IVA por equipos importados por centros de Investigación e instituciones educativas
<b>2001</b>		Creación del Programa Colombiano de Prospectiva Tecnológica e Industrial, el cual ha sido impulsado por el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y por Colciencias, con el apoyo del Programa de Apoyo a la Competitividad - PAC - (anteriormente Programa Andino de Competitividad de la CAF.
<b>2002</b>	Ley 788	Exención de pago de impuesto a la renta por producción de productos medicinales y software elaborado en Colombia
		Se lanza la plataforma ScienTI en 2002 una red pública de fuentes de información y conocimiento que tiene el objetivo de contribuir a la gestión de la actividad científica, tecnológica y de innovación
	CONPES 3179	1.1.5 POLÍTICA INTEGRAL DE APOYO A LOS PROGRAMAS DE DOCTORADO NACIONALES
	Acuerdo del CNCyT 004	Reconocimiento de autoridades departamentales en CyT.
<b>2005</b>	Acuerdo 146 (derogado dec. 547 2016, art 9)	Se conforma la Comisión Distrital de Ciencia, Tecnología e Innovación para Bogotá
<b>2006</b>	Decreto 2828	Se crea el Sistema Administrativo Nacional de Competitividad (SNC)
	Visión 2019, DNP	Documento VISIÓN COLOMBIA 2019, Para fundamentar el crecimiento y el desarrollo social en la ciencia, la tecnología y la innovación del DNP
	1.1.6 Ley 1014	1.1.7 Sobre el fomento a la cultura del emprendimiento
<b>2007</b>	Ley 1150	Contratación administrativa, mantiene selección directa para que entidades públicas contraten actividades de C y T
	Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010	PND 2006-2010 "Estado Comunitario: Desarrollo para Todos". Departamento Nacional de Planeación, 2007. La estrategia de ciencia, tecnología e innovación se encuentra en el Capítulo 7: Dimensiones Especiales del Desarrollo.
<b>2008</b>	Política nacional de fomento a la Investigación	Colombia Construye y Siembra Futuro. Política Nacional de Fomento a la Investigación y la Innovación. Colciencias
	CONPES 3533	Bases de un plan de acción para la adecuación del sistema de propiedad intelectual a la competitividad y productividad nacional 2008-
		Modificación de la Ley 29 de 1990
		Transforma el sistema de Ciencia y Tecnología en Sistema de Ciencia Tecnología e Innovación
		Convierte el establecimiento público Conciencias en Departamento Administrativo
		Crea el Consejo de Beneficios Tributarios
<b>2009</b>	Ley 1286	1.1.8 Funciones. El Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación -Colciencias- 1.1.9 8. Promover la formación del recurso humano para desarrollar las labores de ciencia, tecnología e innovación, en especial en maestrías y doctorados, en aquellos sectores estratégicos para la transformación y el desarrollo social, medio ambiental y económico del país, en cumplimiento del ordenamiento constitucional vigente.
	Resolución 706	Se ordena la convocatoria nacional para estudios a nivel de Doctorado Programa de becas "Francisco José de Caldas" con meta de formación de 100 doctores anuales para alcanzar 5.000 en 2019, buscando acercarse a los 8.000 que propuso la Misión de 1993
	CONPES 3582	POLÍTICA NACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN 2009 Se fijan lineamientos de política en innovación pero sin ligarlos a presupuesto concreto. <a href="http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/conpes-3582-2009.pdf">http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/conpes-3582-2009.pdf</a>
<b>2010</b>	Bases Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018	"Todos por un nuevo País", cuyo objetivo es lograr una Colombia en paz, equitativa y la más educada de América Latina. De este Plan, emerge como uno de los principales lineamientos el documento CONPES de 2017 (en borrador) Política de Ciencia Tecnología e Innovación 2015-2025 Definió a la innovación como una de las cinco locomotoras del crecimiento y como uno de los cuatro ejes transversales a todas las estrategias del Plan. DNP
		1.1.10 Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014, aquí se introducen iniciativas novedosas como:
		1.1.11 Los recursos destinados a créditos para financiar doctorados pueden ser girados al "fondo Francisco José de Caldas", un mecanismo financiero que le permite a COLCIENCIAS integrar los recursos públicos, privados, internacionales y de donación para financiar el desarrollo de la Ciencia, Tecnología e Innovación.
<b>2011</b>	Ley 1450	1.1.12 Se incrementa el descuento tributario a empresas que inviertan en proyectos de ciencia o tecnología de 125 a 175% de la inversión o donación. 1.1.13 Exención de impuesto de renta 1.1.14 Sobre derechos de autor en relación laboral, la propiedad moral y patrimonio son del autor salvo que se acuerde por escrito lo contrario. 1.1.15 Creación de la Unidad de Desarrollo e Innovación: INNPULSA Colombia, administrada por Bancoldex, apoyada por Mincomercio, el DNP, SENA y COLCIENCIAS.
	Acto legislativo 05	Se constituye el sistema general de regalías, se modifican los art 360 y 361 de la constitución para cambiar la estructura de distribución de regalías, se destina el 10% de las regalías a ciencia, tecnología e innovación a partir de 2012.
	Decreto 4923 art. 20	Se garantiza la operación del sistema general de regalías
<b>2012</b>	Decreto 1500	Redefinió y reorganizó el SNC, definiendo que se denominará Sistema Administrativo Nacional de Competitividad e Innovación (SNCeI) cuya finalidad es poner en marcha políticas concertadas en materia de competitividad, productividad e innovación ( <a href="http://www.colombiacompetitiva.gov.co/sneci/Paginas/quienes-somos.aspx">http://www.colombiacompetitiva.gov.co/sneci/Paginas/quienes-somos.aspx</a> )
	Ley 1530 y Decreto 1077	1.1.16 Por la cual se regula la organización y el funcionamiento del Sistema General de Regalías, se reglamenta la finalidad y distribución de los recursos provenientes del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación que tiene como objeto incrementar la capacidad científica, tecnológica de innovación

		y de competitividad de las regiones con proyectos
2013	Ley 1678	Creación de la primera Secretaría Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación en Cundinamarca 1.1.17 Por medio de la cual se garantiza la educación de posgrados al 0,1% de los mejores profesionales graduados en las instituciones de educación superior públicas y privadas del País
2015	Ley 1753	Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 Todos por un nuevo país”, Artículo 186 l Sistema de Competitividad e Innovación integró con el Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación para consolidar un único Sistema de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación y en este marco las Comisiones Regionales de Competitividad en las cuales convergen las instancias departamentales (CODECTI, Consejos Departamentales de Ciencia, Tecnología e innovación). <a href="http://www.mincit.gov.co/loader.php?lServicio=Documentos&amp;lFuncion=verPdf&amp;id=78676&amp;name=Ley_1753_de_2015.pdf&amp;prefijo=file">http://www.mincit.gov.co/loader.php?lServicio=Documentos&amp;lFuncion=verPdf&amp;id=78676&amp;name=Ley_1753_de_2015.pdf&amp;prefijo=file</a>
	Decreto 547 2016	1.1.18 Se deroga el Acuerdo 146 de 2005, eliminando la comisión Distrital de Ciencia, Tecnología e innovación para Bogotá, pues sus Funciones fueron asumidas por las Comisiones Regionales de competitividad (Ley 1753 de 2015)
	CONPES 3835	1.1.19 Declaración de importancia estratégica del proyecto de apoyo a la formación del capital humano altamente calificado en el exterior
2017	CONPES (...) BORRADOR	1.1.20 Política de Ciencia Tecnología e Innovación 2015-2025 para impulsar el desarrollo económico y social a través de la ciencia, tecnología e innovación, a través del desarrollo de capacidades en las regiones, la contribución a la productividad empresarial y la resolución de problemas y retos sociales del país

Fuente: Los autores, adaptado de Leyes, Decretos y documentos relacionados en la tabla.



Figura 1. Gobernanza Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCCTeI)

Fuente: [2]

Dada la amplitud y complejidad de temas asociados a la PNCTI y al SNCCTeI, para efectos de este artículo, se analizará exclusivamente la tercera estrategia en razón a que dentro de la formulación e implementación de las diferentes políticas, al capital humano se le ha dado un papel protagónico para aportar conocimiento que agregue valor y permita transformar el sistema productivo, socioeconómico y político a favor del bienestar de la sociedad.

“En esta estrategia se destaca la ruptura de los bajos niveles de formación avanzada en el país a través del proyecto de inversión “Capacitación de Recursos Humanos para la Investigación” propuesto por Colciencias, que permitirá aumentar el número de doctores del país. Esto se acompañará

con un conjunto de acciones orientadas a utilizar el sistema educativo para el desarrollo de competencias científicas, tecnológicas y de innovación” [1].

De igual manera en el proyecto de Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2015-2025, Documento CONPES [3] que aún está en borrador, se establecen 4 aspectos fundamentales:

1. Formación de capital humano altamente calificado para el aumento de la productividad
2. Fortalecimiento de la investigación y el desarrollo tecnológico
3. Promoción de actividades innovadoras en la empresa privada

4. Expansión de la investigación científica en todas las regiones del país

Lo anterior ratifica que sin la formación de capital humano, la elevación de capacidades regionales, el desarrollo tecnológico, el cierre de brechas con el sector productivo y las actividades científicas para la innovación, no se darían las condiciones para la competitividad de todos los sectores con la articulación de todos los actores del sistema hacia los focos estratégicos definidos en la visión de país.

**2. Ciclo de la política de ciencia y tecnología en Colombia**

En este contexto, se podrá identificar y analizar el ciclo de las políticas públicas, en el tema de Formación de alto nivel, que se materializa no solo en uno sino en varios programas de diferente naturaleza y cuya más reciente versión (2017) se denomina “COLOMBIA CIENTÍFICA”, en su componente “PASAPORTE A LA CIENCIA”.

Es importante definir que para Colombia la formación de alto nivel se ha referido a fomentar y promover capacidades técnicas, científicas y académicas en investigación básica, aplicada y experimental, alineadas con los programas nacionales de Ciencia y tecnología y los requerimientos de los principales sectores productivos del país, para eso se han definido diferentes metas para la formación en los niveles de Maestría y Doctorado dentro y fuera del país, lo que condujo en las últimas dos décadas al aumento de la oferta de este tipo de programas dada la alta migración de estudiantes y una baja inserción de este capital humano formado para la industria y el sector educativo.

El ciclo de la política para el desarrollo de la ciencia y la tecnología y los programas conexos de Formación del capital humano de alto nivel, se puede visualizar en la Fig. 2.

**2.1. Fase 1, Formulación de políticas**

El proceso de políticas públicas no tiene una linealidad definida, entre varios aspectos por su complejidad, por su desarrollo natural en el tiempo y por la multiplicidad de la información que proviene de varios sectores, es por ello que en esta primera parte dentro de la fase de la formulación se identificarán

las etapas de Diseño (dentro de la cual está la identificación de problemas), Decisión sobre políticas y Formulación de programas.

A partir de la Declaración de los Presidentes de América (Punta del Este, 1967) Colombia y otros países de la región comenzaron a plantear la necesidad de emprender un esfuerzo institucional organizado en materia de C&T con el fin de emprender un verdadero camino hacia el desarrollo, por esta razón se realizaron en el país esfuerzos aislados y posteriormente en 1984 el gobierno establece la primera “Misión de Ciencia y Tecnología” para emitir recomendaciones que estructuraron la política pública y organizaron institucionalmente la Ciencia y Tecnología. Como producto de esta Misión, se emite la Ley 29 de 1990, por la cual se dictan disposiciones para el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico [4], en donde de manera muy somera se trata el tema de la Formación de alto nivel, con la reglamentación de los “viajes de estudio al exterior de los investigadores nacionales ofreciéndoles las ventajas y facilidades que les permita su mejor aprovechamiento”, esta fue reglamentada mediante decreto 1767 de 1990 que en su capítulo II, habla de los beneficios para empleados oficiales vinculados a las entidades descentralizadas que cumplen funciones de investigación científica o tecnológica que deseen realizar comisiones de estudios en el exterior.

En este sentido, el programa de Formación de alto nivel, se fundamenta en la “Misión de Ciencia, Educación y Desarrollo” de 1990 que emitió el documento: “Colombia, al filo de la oportunidad” [5]. Allí, en el capítulo de educación, se identificó como problema coyuntural los índices de analfabetismo y la baja calidad del sistema de educación y se plasmó la situación actual de la educación en Colombia a la fecha, llamando la atención especialmente sobre el hecho de que a diferencia de los países desarrollados, en Colombia no existe, ni en la sociedad ni en las personas, la conciencia de que continuar profundizando y actualizando los conocimientos adquiridos en la educación formal, es una necesidad, debido a los cambios en los paradigmas del conocimiento, a la rápida obsolescencia tecnológica y a la complejidad tecno - científica que se instala de manera desigual en todos los rincones del país.

Según el documento: “en ese año sólo el 1% de los científicos del mundo eran latinoamericanos, y de éstos sólo el 1% eran colombianos. Se contaba con 5.000 científicos (180 por millón), de los cuales la mitad no había realizado estudios de Maestría o Doctorado. Según las normas internacionales, sólo el 10% de la suma total estimada calificarían (18 por millón). Para un nivel adecuado de competencia, con una población de 36 millones de habitantes, Colombia debería tener al menos 36.000 científicos e ingenieros” [5].

Se determinó en el informe que “la deficiente educación formal, el deficiente número de investigadores en áreas de la ciencia de interés para el desarrollo nacional y la limitada institucionalización de la ciencia en Colombia, eran factores limitantes del desarrollo científico y tecnológico” [5].

Una de las recomendaciones de la Misión, en el tema Ciencia y Tecnología fue la “Formación del Recurso Humano” y se determinaron las siguientes líneas de acción [5]:



Figura 2. Ciclo de los programas de Formación del capital humano de alto nivel para el desarrollo de la ciencia y la tecnología  
Fuente: Los autores

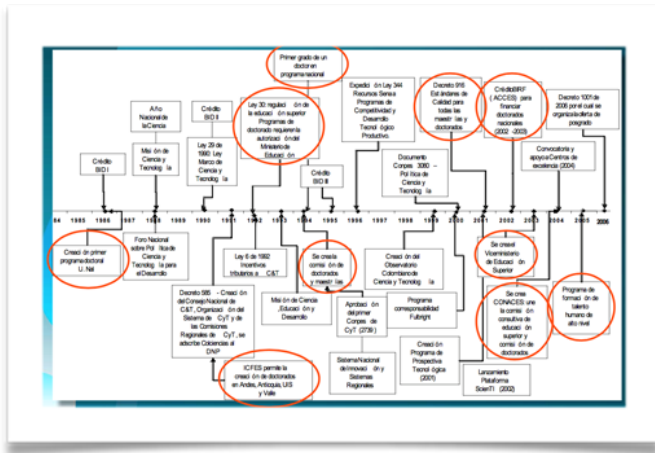


Figura 3. Evolución de la Política de Ciencia y Tecnología y de formación avanzada en Colombia.

Fuente: [8]

1. Aumentar el número de personas dedicadas a la investigación hasta llegar al uno por mil de doctores.
2. Lograr mayores recursos para becas en estudios
3. Fomentar la consolidación de redes científicas

Tabla 2. Programas de Formación de Capital Humano Alto Nivel en Colombia para el desarrollo de la Ciencia y la tecnología

Año	Programa	Órgano Ejecutor
1983	Apoyo a formación de alto nivel Empréstito BID I	ICFES-COLCIENCIAS
1992-1996	Apoyo a formación de alto nivel Empréstito BID II	COLCIENCIAS
1997-2002	Apoyo a formación de alto nivel Empréstito BID III	COLCIENCIAS
2002	(ACCES Acceso con Calidad a la Educación Superior) Programa Apoyo a la Comunidad Científica, Programa de Apoyo a Doctorados Nacionales, convocatoria 1 Recursos de la nación y Banco Mundial COP 10.707.740.769	ICETEX
2003	(ACCES Acceso con Calidad a la Educación Superior) Programa Apoyo a la Comunidad Científica, Programa de Apoyo a Doctorados Nacionales, convocatoria 2, Recursos de la nación y Banco Mundial COP 11.354.920.837	COLCIENCIAS
2004	(ACCES Acceso con Calidad a la Educación Superior) Programa Apoyo a la Comunidad Científica, Programa de Apoyo a Doctorados Nacionales, convocatoria 3, Recursos de la nación y Banco Mundial COP 22.308060.474	COLCIENCIAS
2006	Programa de Apoyo a Doctorados Nacionales	COLCIENCIAS
	Programa de estudios de posgrado en el Exterior	COLCIENCIAS
2009	Convocatoria nacional para estudios a nivel de Doctorado con el Programa de becas “Francisco José de Caldas” meta de formación de 100 doctores anuales para alcanzar 5.000 en 2019	COLCIENCIAS
2015	Programa de Formación de Alto Nivel (2 convocatorias)	COLCIENCIAS
2016	Programa de Formación de Alto Nivel (11 convocatorias)	COLCIENCIAS
2017	Colombia Científica, Pasaporte a la Ciencia	COLCIENCIAS

Fuente: Adaptado de [8,9 y 10]

4. Mejorar la enseñanza de la ciencia en los niveles escolar, básico y universitario
5. Establecer un programa de becas para investigación
6. Fomentar el retorno de colombianos doctores en el exterior

Producto de ésta Misión se desarrolla y emite el primer documento en este sentido: documento CONPES 2739, Política Nacional de Ciencia y Tecnología 1994 - 1998 [6] y sucesivamente el CONPES 2848 de 1996 [7] que complementa los lineamientos del 2739 en lo referente a: Recurso Humano, Fortalecimiento de centros de Investigación y Consolidación del sistema nacional de innovación (que además hace seguimiento al 2739 y sus resultados indicaron entre un 10 y un 30% de cumplimiento).

En las etapas de definición, conceptualización y redacción de procedimientos para la Formación de alto nivel, se emiten varias políticas que se concretan mediante programas, leyes y decretos, que en el caso de Colombia son variadas, las más representativas se observan en la Tabla 1. La evolución en general se puede observar en la Fig. 3.

## 2.2. Fase 2, Administración de programas

### 2.2.1. Implementación de programas

Para el análisis de ésta fase, en la etapa de ejecución, en la Tabla 2 se relacionan los principales programas implementados para desarrollar las políticas y sus órganos ejecutores. Cada programa cuenta con metas, convocatorias y recursos, los cuales otorga Colciencias e ICETEX a través de convocatorias públicas nacionales.

La necesidad de medición de los resultados de los programas se contempla en el CONPES 3582, en la estrategia 5, que hace referencia, dentro del fortalecimiento institucional, a un sistema metrológico nacional y de un sistema de trazabilidad y calidad de actividad científica y tecnológica, realizados mediante convenios entre el sector gubernamental y privado. De igual forma en la estrategia 6, fortalecimiento de los sistemas de información y estadísticas, se contempla el Sistema Nacional de Información de CTel, pero no se ha implementado satisfactoriamente [1].

Actualmente todos los datos sobre el desarrollo de políticas y la producción de estadísticas e indicadores de ciencia y tecnología, se encuentran en el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología, OCyT, una asociación mixta, de carácter privado creada en 1999, “dedicada a producir conocimiento sobre la dinámica y el posicionamiento del sistema mediante el diseño, producción, integración, interpretación y difusión de estadísticas e indicadores, para orientar y evaluar las políticas y la acción de los diversos actores del SNCTI” [11].

Anualmente el OCyT, genera y publica el informe anual de indicadores de ciencia y tecnología, sin embargo la fuente de la generación de los datos es entre otros COLCIENCIAS.

El inicio del apoyo económico de la formación doctoral surge en la década de los 90 mediante créditos condonables, con recursos de créditos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) con los cuales se financió el 73% de las 1.145 becas de doctorados en el exterior otorgadas a 2014, y del Banco Mundial (BM), recursos con los cuales a partir de 2002 se

financió el programa ACCES, para el apoyo de doctorados nacionales.

Los efectos de estos apoyos puede ser que se reflejen en los datos suministrados por el OCyT, en los cuales entre 2003 y 2012 prácticamente se duplicó el número de doctores del país, pasó de 4.652 a 10.144, se igual manera se incrementó la oferta de doctorados nacionales, de 6 programas en 1990 a 167 en 2000. También se generaron efectos negativos, como la migración y fuga de cerebros, lo que generó la necesidad de programas de retorno y de trabajo con los colombianos en el exterior, así como el replanteamiento de las condiciones económicas, de ese capital formado, a su retorno al país.

Posterior al año 2003, los programas de formación (becas) han sido financiados en su totalidad por Colciencias y otras instituciones, sin créditos internacionales.

El programa de Alta Formación de Colciencias, del año 2015, tuvo como objetivo apoyar la formación de investigadores colombianos en programas de formación en las mejores universidades del mundo y del país mediante dos grandes convocatorias: “una para financiar estudios de Doctorado en Colombia y otra para estudios de Doctorado en el exterior. Adicionalmente se ofertan oportunidades de formación en maestría y doctorado para las regiones, financiadas con recursos del Fondo para Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías, así como una nueva apuesta de formación de Doctorados en Empresa” [12].

La meta del programa entre el 2015 y 2018 está dirigida a financiar 3.000 nuevos doctores y 7.000 maestrías, aumentando el número de doctores por millón de habitantes, pasando de 6,6 a 60. Igualmente, se apunta a llegar a 460 investigadores por millón de habitantes y tener una disponibilidad de USD 164 mil por investigador, equivalentes a una inversión del 0.93% del PIB en I+D.

En 2017 se lanzó el programa “Colombia Científica” y el Banco Mundial financió el proyecto con US\$ 68 millones para el programa que cuenta con dos componentes: “Ecosistema Científico” para creación de redes de conocimiento con el fin de mejorar la productividad y competitividad y “Pasaporte a la Ciencia” liderado por ICETEX (US\$ 12 millones) para otorgar créditos/becas para cursar Maestrías y Doctorados en el mundo. El programa ofrece 90 becas de doctorado, 100 de maestría y el apoyo a ocho proyectos de ciencia, tecnología e innovación, cada uno con 20 mil millones de pesos.

El Plan Nacional de desarrollo 2014-2018, manifiesta que Colombia pretende ser el país más educado y el tercer país más innovador de América latina en 2025, para ello estableció como meta financiar 10.000 becas para la formación de maestrías y doctorados, sin embargo las estadísticas muestran que estamos lejos de alcanzarla pues entre 2014 y 2015 se han otorgado 2.910 becas aunando esfuerzos de varias instituciones.

Dentro de los aspectos más importantes de los resultados de los programas se destaca que Colciencias ha destinado en los últimos años el 50% del presupuesto para el desarrollo de capacidades en formación, sin embargo la responsabilidad de financiamiento debería ser compartida por el Ministerio de Educación Nacional, el ICETEX y otras instituciones no gubernamentales involucradas en la formación de alto nivel [13].

Pese a los apoyos en becas no se ha evidenciado la incidencia de la absorción de ese capital humano formado, en las necesidades de innovación, desarrollo tecnológico y transformación productiva para la competitividad del país, básicamente porque los esfuerzos se han realizado de manera desarticulada con otras acciones como el apoyo a la infraestructura de la educación doctoral, el fomento de la movilidad de los investigadores al exterior, la promoción de grupos de investigación y la creación de centros de excelencia.

No se presenta información suficiente de capacidad de absorción del SNCCTeI, o de inserción laboral de los doctores, el OCyT, muestra que la mayoría de doctores en el país se han vinculado al sector educativo y a centros de investigación y que la vinculación a empresas es muy baja. En 2014 de 101.226 profesionales empleados, solo 329 son doctores y de esos, solo 94 realizan actividades de desarrollo e innovación tecnológica [14].

Otros datos del OCyT, establecen que el 55% de becas corresponden al exterior y el 45% a nacionales, sin embargo debe existir un equilibrio, pues no se debe descuidar la infraestructura nacional de formación de alto nivel, ya que será esta la que atienda a las necesidades el país de acuerdo a su realidad [15].

Lo anterior, permite relacionar con el tema de áreas de formación: de las 7963 becas otorgadas entre 2006 y 2015, 2,102 fueron en el área de Ciencias sociales y humanidades, 1963 en Ingeniería y tecnología y 1826 en ciencias naturales y exactas y sólo 463 (el menor número) se asignaron en ciencias agrícolas, cifras que deberían tener una relación directa con las áreas definidas como prioritarias para el país, que en ese periodo fueron: Biodiversidad, Materiales, Electrónica y Estudios sociales Colombianos [16].

En 2015 existían 51 programas de doctorado en Ciencias sociales y humanidades, 39 en Matemáticas, 36 en Ingenierías y afines, 27 en Educación, 26 en Salud, 16 en Economía y afines, 8 en Agronomía y afines y 2 en Bellas Artes [3], comparado con los focos estratégicos definidos en el Programa Colombia Científica de 2017: Alimentos, Salud, Energía Sostenible, Sociedad y Bioeconomía [13].

## 2.2.2. Evaluación de programas

EL DNP es el encargado de la preparación, el seguimiento de la ejecución y la evaluación de resultados de las políticas, planes generales, programas y proyectos del sector público, también las comisiones de regulación deben aplicar la evaluación ex-post, pero las que se hacen, no se incorporan al ciclo de la política, y no hay una evaluación sistemática ni de las políticas, ni de las instituciones, tampoco del impacto.

En cuanto a la evaluación particular de los programas de Formación de alto nivel, se encontraron muy pocos documentos como el Balance 2016-2010 de Colciencias y el CONPES 2848, y en general en los CONPES se realiza un informe de resultados de programas anteriores, pero no se encuentran mecanismos claros de seguimiento y control, evaluación de objetivos, implementación y resultados para la mejora. Existen documentos críticos serios pero de iniciativas particulares, no que hagan parte de una propuesta estatal definida. No se

encuentra el concepto de adicionalidad de resultados ni estudios que lo planteen.

En el CONPES de 2009, se establece en la quinta estrategia el sistema de evaluación integral para monitoreo de la labor de entidades y centros de investigación en aras del fomento de la excelencia y racionalidad del uso de los recursos públicos, pero no de la política.

La OCDE en 2015 en el documento de Estudio sobre la política regulatoria en Colombia dedicó un capítulo al tema y recomendó: “El Gobierno de Colombia (GOC) debería promover el uso sistemático de la evaluación ex post de regulaciones, programas e instituciones para la mejora regulatoria a fin de hacer la regulación más eficiente y efectiva” [17].

### 3. Conclusiones

Es posible identificar la mayoría de etapas del ciclo de una política en el programa de formación de alto nivel, sin embargo es evidente la falta de continuidad de los programas, la baja participación efectiva de los diversos sectores de la sociedad, una discrepancia en el lenguaje de las instituciones que tienen inherencia en el sistema y una desarticulación en los diferentes niveles del estado que inhiben las posibilidades reales de inserción de doctores en los diferentes eslabones de la cadena productiva, del aparato estatal y de las instituciones de educación superior.

Por las características socio - económicas y culturales del país, faltan políticas de estado de largo plazo que aseguren continuidad y cumplimiento de objetivos estratégicos del país por lo que deja a gobernantes de turno, la toma de decisiones en materia financiera para la distribución, asignación y priorización de recursos en CyT en el tema de capital humano y de los incentivos para absorberlos después de su formación.

Se adolece de un sistema único e integrado de información que centralice, codifique y de cuenta de estructura organizada en donde se puedan adquirir reportes confiables y oportunos sobre datos de los programas derivados de cada estrategia de la política y de su conexión con otros programas, componentes y actores del SNCCTel.

Con los actuales instrumentos y mecanismos de medición, difícilmente se podría concluir que los objetivos con los cuales fue concebida la política y programas en las últimas décadas, se han cumplido, repercutiendo de manera favorable en todos los sectores debido a una institucionalidad que no responde a las necesidades y realidades del país, ocasionando fenómenos como “fuga de cerebros”, falta de relevo generacional y consolidación de una masa crítica que fomente el análisis, revisión y planteamiento de nuevas políticas públicas y de los arreglos institucionales necesarios para una nueva arquitectura científica del país.

Permanece una dispersión conceptual y de unidad de criterio en los diferentes documentos de la política y no se logran capturar las relaciones complejas entre ciencia, tecnología e innovación con la competitividad, lo que permitiría inferir que aunque aumente el porcentaje del presupuesto de Colciencias al apoyo doctoral (en 2014 fue el 60%) se seguirá en un escenario de alta ineficiencia porque no hay sostenibilidad y capacidades

instaladas de Ciencia y Tecnología para el desarrollo de los proyectos de vida para este capital humano.

Sin lugar a duda la formación académica, técnica y científica, requiere una reforma estructural desde el sistema educativo del país, que conduzca a la formación en competencias científicas y blandas en todos los niveles de la educación lo que se traduciría en nuevos jóvenes

Aunque la evaluación ex post es parte fundamental del ciclo de gobernanza y es esencial para la comprensión de la eficiencia de la política, existen falencias en la consolidación de esta etapa y no existe un análisis sólido y sistemático sobre su impacto y mucho menos la conexión objetivo-impacto.

Finalmente no se evidencia una correspondencia entre la calidad de las instituciones de educación superior y la formación de capital humano cualificado y de calidad en Colombia lo que impide la consolidación de proyectos educativos específicos hacia el sector productivo y un bajo interés de universitarios para acceder a estudios de posgrado.

### 4. Referencias

- [1] Departamento Nacional de Planeación, DNP., Política nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. CONPES 3582, Bogotá, D.C., Colombia, 27 de abril de 2009.
- [2] Gobierno de Colombia., Sistema nacional de competitividad, ciencia y tecnología e innovación. Gobernanza Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación. [en línea]. Disponible en: <http://www.colombiacompetitiva.gov.co/sneci/Paginas/quienes-somos.aspx>, 2017.
- [3] Departamento Nacional de Planeación, DNP., Política nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2015-2025. CONPES(s.f.), Bogotá, D.C., Colombia. [en línea]. Disponible en: <http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/noticias/compes-borrador-cti.pdf>, 2017.
- [4] Congreso de Colombia., Ley 29 de 1990, Por la cual se dictan disposiciones para el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico y se otorgan facultades extraordinarias. Colombia, 1990.
- [5] Presidencia de la República, Consejería Presidencial para el Desarrollo Institucional. Colombia: Al filo de la oportunidad, misión ciencia, educación y desarrollo. [en línea]. Disponible en: [http://www.plandecenal.edu.co/cms/media/herramientas/colombia\\_al\\_filo\\_de\\_la\\_oportunidad.pdf](http://www.plandecenal.edu.co/cms/media/herramientas/colombia_al_filo_de_la_oportunidad.pdf), 1996.
- [6] Departamento Nacional de Planeación, DNP. Política nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 1994 - 1998. CONPES 2739. Bogotá, D.C., Colombia, noviembre 2 de 1994.
- [7] Departamento Nacional de Planeación, DNP. Seguimiento a la Política nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. CONPES 2848. Bogotá, D.C., Colombia, mayo 29 de 1996.
- [8] COLCIENCIAS. Estrategias para la formación de talento humano de alto nivel para el desarrollo científico, tecnológico y de la innovación. [en línea]. Disponible en: <http://www.aup.org/antioquia/web/octubre30/1FelipeGarcia/FelipeGarcia.pdf>, 2007
- [9] COLCIENCIAS. Políticas de formación de talento humano de alto nivel para el desarrollo científico, tecnológico y de la innovación. [en línea]. Disponible en: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj53P-L7bvTAhVJLYKHbpNAIUQFggjMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.mineducacion.gov.co%2F1621%2Farticles-96066\\_archivo\\_ppt3.ppt&usq=AFQjCNHUDHqXSQ-xoeCPaB4DGO8J20sdtg&sig2=pOpvTUeKM2QjwAkSikPUcg](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj53P-L7bvTAhVJLYKHbpNAIUQFggjMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.mineducacion.gov.co%2F1621%2Farticles-96066_archivo_ppt3.ppt&usq=AFQjCNHUDHqXSQ-xoeCPaB4DGO8J20sdtg&sig2=pOpvTUeKM2QjwAkSikPUcg), 2007.
- [10] ICETEX., Convocatoria pasaporte a la ciencia. [en línea]. Disponible en: <https://www.icetex.gov.co/dnnpro5/Portals/0/credito/Pasaporte%20a%2>



01a%20Ciencia/Documentos/INFO\_PASAPORTE\_C\_CIENCIA6.pdf, 2007.

- [11] Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología., Información Institucional. [en línea]. Disponible en: <http://ocyt.org.co/es-es/informacion-institucional>, 2017.
- [12] Colciencias., Programa de formación de alto nivel. [en línea]. Disponible en: <http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/resena-programa-formacion-altonivel-2016.pdf>. Colombia, 2016
- [13] Instituto de Estudios del Ministerio Público (IEM) y Asociación Colombiana para el balance de la ciencia. Misión de ciencia educación y desarrollo: Balance 20 años después. 2015.
- [14] OCYT. Indicadores de Ciencia y Tecnología, 2016.
- [15] OCYT. Lecciones sobre la política de formación de recursos humanos para la investigación en Colombia. Reflexiones sobre Política en CTI, No 1, octubre de 2014. [en línea]. Disponible en: <http://ocyt.info/Portals/0/Documentos/Policy%20Briefs/Lecciones%20obre%20la%20pol%C3%ADtica%20de%20formación%20de%20recursos%20humanos%20para%20la%20investigación%20en%20Colombia.pdf>, 2014.
- [16] COLCIENCIAS. Balance 2006-2010, 36 P. [en línea]. Disponible en: [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Empresarial/Informe\\_%202006-2010.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Empresarial/Informe_%202006-2010.pdf), 2010.
- [17] OCDE, Estudio de la OCDE sobre la política regulatoria en Colombia: Más allá de la simplificación administrativa, OECD publishing. 2014.
- [18] Redacción EL TIEMPO (13 de septiembre de 1993). Que es el CONPES, El Tiempo, [en línea]. Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-221821>

**M.P. Heredia-Campo**, recibe el título de Arquitecta de la Universidad Santo Tomás (USTA) en 1996, el de Esp. en Docencia Universitaria USTA en 1998, MSc. en Administración de Empresas en 2000, el de Esp. en Gerencia de Instituciones de Educación Superior en 2005, realizó Diplomado en Diseño Curricular con enfoque en Competencias y TIC para la innovación Educativa en 2012, Diplomado “Pertinencia Internacional de Programas de Educación Superior” en 2013 y en la actualidad candidata a MSc. en Cultura Científica y de la Innovación de la Universidad Politécnica de Valencia, España. Se ha desempeñado como directora del Departamento de Planta Física en la USTA de 2002 a 2008 y tiene más de 18 años de experiencia docente en la USTA en las Facultades de Arquitectura (Bucaramanga) e Ingeniería Civil (Bogotá). Actualmente se encuentra vinculada al grupo de Investigación GIFIC de la Universidad Santo Tomás y responsable de los procesos de internacionalización de las Facultades de Ingeniería Civil e Ingeniería Ambiental.  
ORCID: 0000-0003-3172-6376

**D.J. Mesa-Fernández**, recibe el título de Ing. Ambiental de la Universidad Manuela Beltrán de Bogotá, Colombia en 2004, M.Sc. en Ciencias Ambientales de la Universidad Jorge Tadeo Lozano en 2009. Esp. en Estudios de Impacto Ambiental de Proyectos de Desarrollo e Infraestructura. Estructurador y formulador de proyectos para el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación SNCT+I Colciencias y para el Sistema General de Regalías SGR. Conocedor de metodologías de Marco Lógico – MGA para el desarrollo de planes, programas y proyectos de inversión. Fue líder del grupo de Sistemas y Recursos Ambientales Sostenibles (SYRAS) de la UMB y actualmente Decano e investigador del grupo INAM-USTA de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás. Ha sido profesor de asignaturas como gestión ambiental, hidrología, geociencias, salud ambiental, política energética, regulación y desarrollo, taller de estudio e investigación, investigación cuantitativa, impacto ambiental de las Universidades Santo Tomas, Jorge Tadeo Lozano, Universidad Autónoma de Colombia y Manuela Beltrán en pregrado, Especialización y a nivel de Maestría. Ha participado en diversos eventos de carácter científico, técnico y académico.  
ORCID: 0000-0002-9083-9314

# Nanociencia y nanotecnología en carreras de ingeniería

Sandra M. Mendoza

Facultad Regional Reconquista, CONICET, Universidad Tecnológica Nacional, Reconquista, Argentina. [smendoza@frrq.utm.edu.ar](mailto:smendoza@frrq.utm.edu.ar)

**Resumen**— La nanociencia y la nanotecnología son campos interdisciplinarios de la ciencia y la tecnología que han tenido un gran impacto en las últimas décadas. Si bien sus aplicaciones aparecen en todas las ramas de la ingeniería, la formación en nanotecnología para ingenieros se suele restringir a cursos de posgrado. Por ello resulta necesario introducir la temática en etapas de formación más tempranas. En consecuencia, este trabajo presenta un diseño curricular para la enseñanza de nanociencia y nanotecnología en carreras de ingeniería, a nivel de grado. La propuesta se puede incorporar en carreras de ingeniería diversas y fue recientemente implementada en el programa de ingeniería electromecánica de la Universidad Tecnológica Nacional.

**Palabras Clave**— nanociencia; nanotecnología; ingeniería; diseño curricular.

Recibido: 10 de octubre de 2017. Revisado: 12 de diciembre de 2017. Aceptado: 5 de febrero de 2018.

## Nanoscience and nanotechnology for engineering education

**Abstract**— Nanoscience and nanotechnology are interdisciplinary fields of science and technology that have had great impact in recent decades. While applications appear in all branches of engineering, education in nanotechnology for engineers is usually restricted to postgraduate courses. Therefore, it is necessary to introduce the subject at earlier stages of formation. Thus, this paper presents a curricular design for introducing nanoscience and nanotechnology to undergraduate engineers. The proposal can be incorporated into various engineering careers and was recently implemented in the program of Electromechanical Engineering of the Universidad Tecnológica Nacional.

**Keywords**— nanotechnology; nanoscience; engineering; curricular design.

### 1. Introducción

La nanociencia y la nanotecnología son campos interdisciplinarios de la ciencia y la tecnología que involucran temáticas tales como química, física, biología, electrónica, medicina e ingeniería. El término “nanociencia” se refiere al estudio de la materia en el rango de 1 a 100 nm, donde un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro ( $1 \text{ nm} = 10^{-9}$ ). Su significado se ilustra en la Fig. 1 [1]. La nanociencia es particularmente distintiva de otras disciplinas científicas debido a que, a escala nanométrica, se pueden observar fenómenos que no se perciben a escalas macroscópicas. Estos fenómenos muchas veces no se pueden explicar mediante las leyes de la física clásica, sino que se estudian mediante la mecánica cuántica [2]. Los nanomateriales y las superficies nanoestructuradas presentan una relación superficie/volumen

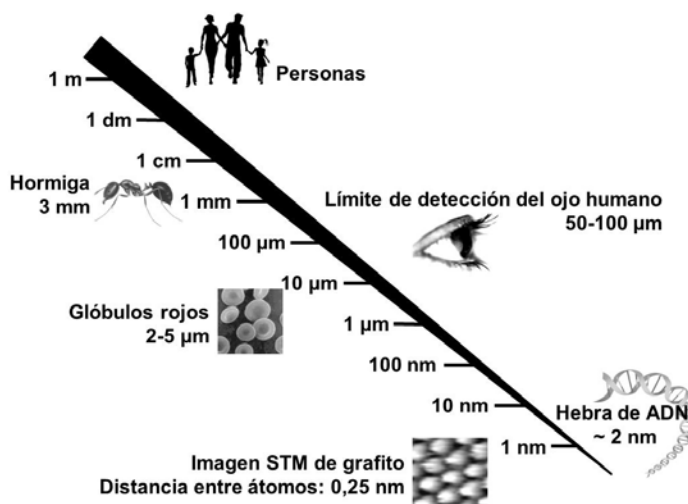


Figura 1. Un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro. Fuente: La autora.

muy alta, es decir que los átomos de la superficie se encuentran en cantidades significativas, por lo que dominan las propiedades del material.

El término “nanotecnología” se refiere a la manipulación y control de la materia a escala nano, para influir sobre propiedades que tienen aplicaciones a escala macroscópicas, e involucra el dominio de las técnicas empleadas para tal fin [3]. La National Nanotechnology Initiative (NNI) de Estados Unidos la define como ciencia, ingeniería y tecnología llevada a cabo en la nanoescala, la cual se considera entre alrededor de 1 a 100 nm [4]. Esta última definición, que es más amplia y actual, menciona el término “ingeniería”, destacando su importancia en la temática.

Estos campos de la ciencia y la tecnología comenzaron a tener un gran auge en los últimos años gracias al desarrollo de nuevas herramientas para estudiar la materia a escala atómica y molecular. El microscopio de efecto túnel (STM, por su sigla en inglés) fue sin dudas un disparador en tal sentido.

La construcción de nanodispositivos es un desafío para la nanotecnología, pero en los últimos años se han logrado avances que prometen un sin fin de aplicaciones [5-7]. Aunque muchas de ellas están aún en fase de investigación, otras ya impactan en el sector productivo como por ejemplo para

**Como citar este artículo:** Mendoza, S.M., Nanociencia y nanotecnología en carreras de ingeniería. Educación en Ingeniería, 13(25), pp. 117-122, Febrero, 2018.

almacenamiento de información, biotecnología, medicina, cosmética, electrónica y energía [8]. Hay muchos productos en el mercado que contienen nanomateriales [9] y son cada vez más los entes gubernamentales e internacionales que promueven el avance de la ciencia y el progreso de la tecnología en este rubro [10]. Latinoamérica no es ajena a esta realidad y son varias las iniciativas en la misma dirección [11,12]. La visibilidad de las innovaciones latinoamericanas en el rubro se pone de manifiesto en el número de patentes [13].

Las carreras de ingeniería generalmente no contemplan la formación en nanotecnología durante sus cursos de grado. Este tipo de formación se suele impartir en cursos de posgrado. Pero hay excepciones [10,14-17] e incluso algunas instituciones proponen incluir la nanotecnología ya en la educación primaria, de manera similar a la enseñanza del cálculo, la geometría o la biología [10,18]. Incorporar conceptos de nanotecnología en carreras de grado contribuye a que los futuros ingenieros cuenten con herramientas para llevar a la práctica los rápidos avances científicos. En Latinoamérica existe un gran potencial para desarrollar nuevos espacios formativos.

A continuación se describen los lineamientos del plan curricular propuesto para carreras de ingeniería de la Universidad Tecnológica Nacional. El espacio formativo fue recientemente implementado en la carrera de Ingeniería Electromecánica, aunque no se limita a ésta. La propuesta que aquí se expone sirve de base para ser adaptada a cualquier carrera de ingeniería.

## 2. Objetivos: brindar herramientas de nanotecnología para futuros ingenieros

El plan curricular corresponde a un espacio formativo destinado a complementar y actualizar carreras de grado en ingeniería. El conocimiento ganado será particularmente relevante para ingenieros que tengan que trabajar en la selección y aplicación de materiales. Como el empleo de materiales – y nanomateriales – es transversal a todas las áreas tecnológicas, el contenido se puede adaptar a cualquier carrera de grado relacionada con las ciencias exactas y naturales. Este es el caso de los ingenieros en materiales, químicos, civiles, mecánicos, eléctricos o bioingenieros, por citar algunos ejemplos. En otras palabras, la enseñanza de la nanotecnología resulta de interés para todas las carreras de ingeniería.

Además de impartir contenidos teóricos, el espacio formativo debe proporcionar herramientas para que los alumnos conozcan el lenguaje técnico de la disciplina, lo que contribuirá a mejorar la comunicación del ingeniero tanto con los científicos como con la sociedad. Así, el ingeniero será una vez más el puente conector entre la ciencia y las demandas tecnológicas. Se pretende que los alumnos sean capaces de seleccionar y aplicar el conocimiento científico para poder brindar soluciones a los desafíos tecnológicos del siglo XXI. Se destaca la importancia de permanecer actualizados con respecto a los avances en el desarrollo de nuevos materiales. Esto implica discutir temas tales como propiedad intelectual, publicaciones científicas y transferencia de tecnología.

El nivel de complejidad con que se aborde cada tema depende de los conocimientos previos de los alumnos. Está

adaptado a una audiencia de estudiantes de ingeniería que hayan completado los cursos universitarios de matemáticas, física, química, termodinámica, estadística e inglés como idioma extranjero. En general, la bibliografía disponible existe en forma de publicaciones científicas y textos preparada para cursos altamente especializados o de posgrado. Es así que la implementación del plan curricular requiere seleccionar y producir bibliografía adaptada a los conocimientos previos y el perfil del futuro profesional.

Brindar herramientas de nanotecnología para futuros ingenieros ha sido el objetivo en la Universidad Tecnológica Nacional, a través de la experiencia que se comenta en la sección 4. Pero, como se ha mencionado antes, es válido para complementar y actualizar otras carreras de grado en ingeniería.

## 3. Contenidos principales. Fundamentos

En este trabajo se propone abordar la enseñanza de la nanociencia y la nanotecnología a través de un curso de grado organizado en cuatro ejes temáticos, que están íntimamente relacionados entre sí a la hora de comprenderlos y llevarlos a la práctica, como si fueran piezas de un rompecabezas (Fig. 2):

- 1) Introducción a la nanoquímica y a la nanofísica
- 2) Técnicas de miniaturización y manufactura
- 3) Técnicas de caracterización de nanomateriales y superficies
- 4) Dispositivos nanométricos y máquinas moleculares.

En los siguientes párrafos se detallan los contenidos mínimos de cada sección y los fundamentos que justifican su importancia. Cabe notar que los contenidos específicos se pueden adaptar a los intereses de la audiencia y de la carrera de ingeniería.

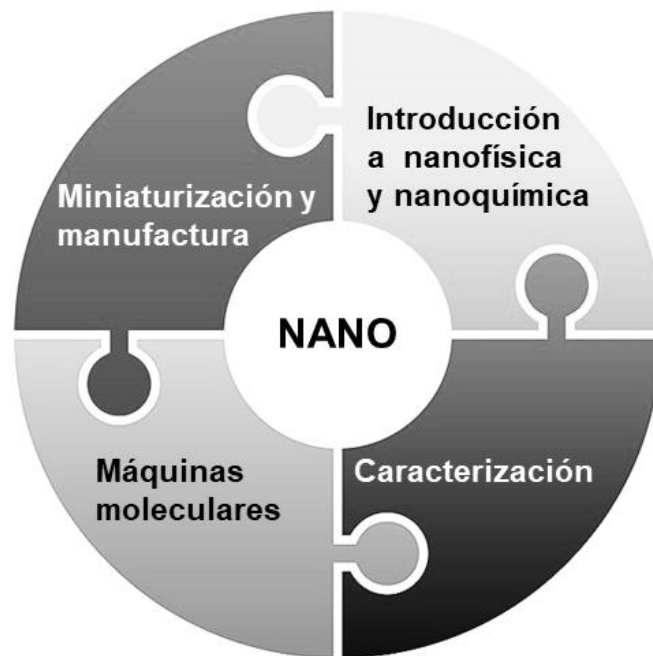


Figura 2. Ejes temáticos para la enseñanza de nanociencias y nanotecnología en carreras de ingeniería.  
Fuente: La autora.

### 3.1. *Introducción a la nanoquímica y a la nanofísica*

El curso comienza con una introducción sobre el significado y los alcances de la nanociencia y la nanotecnología, enfatizando su importancia en aplicaciones ingenieriles y el trabajo interdisciplinario entre diversos grupos de investigación. Para ello se analiza la diferencia entre ciencia y tecnología. También se debate sobre el significado de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i). El vínculo entre estos tres conceptos se pone de manifiesto mostrando casos de éxito donde la evolución de una idea o descubrimiento resulta en una nueva tecnología o un producto en el mercado.

Para comprender fenómenos que ocurren en la nanoescala, es necesario revisar conceptos de física y química, como ser estructura cristalina de superficies, rugosidad, hidrofobicidad, espectro electromagnético, cuantización de la energía, fenómenos de adsorción y emisión de radiación, conductividad eléctrica por efecto túnel, fuerzas electrostáticas entre átomos y moléculas, reacciones químicas en superficies, y autoensamblado de moléculas. Aquí resulta indispensable explicar y hacer uso de conceptos que derivan de la física cuántica, aunque sin profundizar en formalismos matemáticos, los que se podrán desarrollar en cursos de postgrado.

Como el comportamiento de los nanomateriales depende de las propiedades de átomos de la superficie, en esta etapa del curso se llevan a cabo ejercicios matemáticos que contribuyan a comparar la relación superficie/volumen a macro- y nanoescalas, y evidenciar su influencia en las propiedades de los materiales. También se presentan los nanomateriales más estudiados en los últimos años y se debate sobre sus aplicaciones. Algunos ejemplos son fullerenos, nanotubos de carbono, grafeno, nanopartículas, puntos cuánticos y dendrímeros.

### 3.2. *Técnicas de miniaturización y manufactura*

Gracias a los avances en técnicas de manufactura es posible crear estructuras cada vez más pequeñas. Los denominados métodos “top-down” permiten crear nanomateriales y nanoestructuras a partir de un bloque de material más grande. Es posible por ejemplo gastar y grabar formas diminutas en una planchuela de silicio para hacer chips, los que luego se utilizan en dispositivos electrónicos. Las mejoras en tecnología informática de los últimos 60 años ocurrieron gracias a la miniaturización. Las limitaciones que presentan las técnicas top-down son una de las principales razones por las cuales muchos científicos están investigando cómo fabricar a escala nano mediante aproximaciones del tipo “bottom-up”, que significa unir átomos y moléculas individuales de manera controlada para formar estructuras más grandes. Para idear nuevos métodos de producción, ellos exploran los principios de la biología, las reacciones químicas y las fuerzas físicas, que son las técnicas de manufactura que utiliza la naturaleza.

Esta sección del curso está dedicada a describir algunas de las técnicas y tecnologías más representativas. Un grupo de técnicas de tipo top-down muy difundido es la litografía, donde las nanolitografías y la fotolitografía se utilizan ampliamente en la industria de los semiconductores. Entre los métodos de tipo

bottom-up más difundidos a escala industrial se encuentran los de deposición química y física en fase vapor (CVP y PVD, por sus siglas en inglés). A escala de laboratorio, el auto-ensamblaje ofrece gran potencial. En el método de auto-ensamblaje, nano-objetos elementales, tales como moléculas y nanopartículas, se unen espontáneamente para formar estructuras más grandes, sin la intervención directa del hombre.

Los instrumentos utilizados para la caracterización y manipulación de nanomateriales con frecuencia hacen uso de condiciones de vacío, y a veces ultra alto vacío (UHV). Se utiliza UHV para preparar películas delgadas por medio de CVD o PVD, así como también en equipos que hacen uso de haces de iones o electrones. Las condiciones de UHV son necesarias cuando se requiere que el camino libre medio de las partículas (iones, electrones, átomos o moléculas) sea mayor a las dimensiones del equipo, para evitar colisiones y pérdidas de energía. Este requisito generalmente se satisface con presiones del orden de  $10^{-6}$  Torr, que se considera un rango de vacío medio. Algunas veces un vacío medio resulta insuficiente. Por ejemplo, cuando se desea analizar nanomateriales o películas ultra delgadas, es necesario que la superficie esté limpia a nivel atómico. Es decir que se necesitan condiciones de vacío que eviten la acumulación de contaminación a niveles despreciable, al menos durante el lapso de tiempo para realizar el experimento. Este requisito se logra trabajando en condiciones de vacío aún más rigurosas, que en la práctica se consiguen con presiones bases del orden de  $10^{-10}$  Torr, valor que cae en el régimen de UHV.

Por lo antes mencionado, en el curso también se discute sobre tecnologías de UHV y se muestra su importancia para la síntesis, la caracterización y la manipulación de nanomateriales. Se tratan temas tales como definición de vacío, rangos operativos de presiones, tipos de bombas de vacío, beneficios, desventajas y aplicaciones.

### 3.3. *Técnicas de caracterización de materiales y superficies*

La caracterización de materiales a escala nanométrica se vale de técnicas espectroscópicas, de difracción y de diversos tipos de microscopías. Por ello, esta etapa del curso está destinada a explicar los principios de funcionamiento de las técnicas más utilizadas.

Las técnicas espectroscópicas son indispensables para el estudio y caracterización de superficies y nanomateriales, ya que proveen información cuali- y cuantitativa acerca de la composición química, las propiedades electrónicas y las interacciones intra- e intermoleculares. Existen muchas técnicas que permiten analizar los materiales a nanoescala y son selectivas a las primeras capas atómicas de la superficie [19]. Algunos ejemplos son la espectroscopia de fotoelectrones emitidos por rayos X (XPS), la espectroscopía de rayos X por energía dispersiva (EDX) y la espectroscopía de fotoelectrones Auger. La aplicación de este conjunto de técnicas para el análisis de superficies tuvo sus inicios a partir de los avances en física atómica, hace ya más de un siglo. El XPS se originó a partir del descubrimiento del efecto fotoeléctrico por parte de Henrich Hertz en 1887 [20]. A partir de allí se sucedieron varios avances hasta que después de la Segunda Guerra Mundial, Kai

Siegbahn y su grupo en Upsala (Suecia) lograron mejoras instrumentales que permitieron registrar recién en 1954 el primer espectro de XPS de alta resolución de cloruro de sodio. Este logro reveló el potencial de XPS y la utilidad de la técnica [21]. En 1969, Hewlett-Packard, en Estados Unidos, produjo el primer instrumento comercial XPS monocromático. Siegbahn recibió el Premio Nobel en 1981 por sus amplios esfuerzos para desarrollar XPS en una herramienta analítica útil.

Complementariamente, las técnicas de microscopía brindan información topográfica tridimensional y en algunos casos, información sobre las propiedades físicas y electrónicas de la superficie de un material. En términos simples, un microscopio es un instrumento que sirve para ver objetos más pequeños que los que se pueden observar a simple vista. Los microscopios ópticos existen desde hace varios siglos. Su resolución está limitada por la longitud de onda de la luz visible, esto significa que no podemos ver objetos más pequeños que  $0.2 \mu\text{m}$  aproximadamente. Para acceder a la nanoescala y estudiar estructuras a nivel atómico es necesario contar con una fuente de luz de menor longitud de onda – como en el caso del microscopio electrónico de barrido (MEB) y el microscopio electrónico de transmisión (TEM) –. También se puede recurrir a otro tipo de estrategia de detección, como es el caso de los microscopios de sonda, donde los principales ejemplos son el STM y el microscopio de fuerza atómica (AFM).

Los avances en microscopía electrónica tuvieron lugar a partir de un descubrimiento fundamental de la mecánica cuántica: la luz exhibe propiedades de onda y de partícula. En 1927 C. J. Davison y L. H. Germer confirmaron experimentalmente la naturaleza ondulatoria del electrón y también encontraron que los electrones de mayor energía tenían una menor longitud de onda que aquellos de baja energía. El logro condujo a la invención del microscopio electrónico por E. Ruska y M. Knoll en 1931 [22,23]. Este tipo de instrumentos utiliza un haz de electrones en condiciones de vacío, que se acelera y focaliza sobre una muestra, la que lo absorbe o dispersa para formar una imagen sobre una placa fotográfica sensible a los electrones.

Los microscopios de sonda se valen de una sonda en forma de aguja afilada que recorre la superficie de un material y va colectando información que luego se procesa para originar una imagen. El STM, inventado por Gerd Binnig y Heinrich Rohrer en 1981 [24], permite obtener imágenes tridimensionales de la superficie de un sólido con resolución atómica. El principio de funcionamiento del STM se basa en el control de la corriente túnel, la cual tiene lugar entre la sonda y la superficie. Las variaciones electrónicas por efecto túnel permiten generar una imagen. En esta técnica es un requisito que la muestra sea eléctricamente conductora. En el caso del AFM, la sonda colecta información referida a fuerzas interatómicas que tienen lugar entre ésta y la superficie de la muestra a analizar (fuerzas de Van der Waals, electrostáticas, etc.). La imagen es el resultado de las variaciones de las fuerzas entre el material de la sonda y de la superficie. AFM permite observar muestras conductoras y no conductoras, aunque con menor resolución que el STM.

### 3.4. Dispositivos nanométricos y máquinas moleculares

Los aparatos y máquinas de tamaño nanométrico se definen por analogía con sus pares macroscópicos [1]. Un ‘dispositivo

molecular’ es un ensamblaje de un número discreto de moléculas, diseñado para cumplir una función específica [25]. Una ‘máquina molecular’ es una clase especial de aparato molecular que, ante la influencia de un factor externo (por ejemplo luz, calor, campo eléctrico o magnético), puede mover las partes que la componen para realizar un trabajo [26].

Los dispositivos moleculares sintéticos están inspirados en la naturaleza y en los objetos macroscópicos que utilizamos en nuestra vida cotidiana. La naturaleza utiliza máquinas moleculares para transportar sustancias dentro de las células y para llevar a cabo funciones tales como la replicación de ADN y la síntesis de ATP [27]. Las proteínas kinesina y dineína se mueven a lo largo de microtúbulos para inducir el transporte direccionado de organelos, cromosomas y ARN [28]. La síntesis de F1F0-ATP utiliza un motor biológico rotacional que se ubica en las membranas mitocondriales, bacterianas y de cloroplastos, que son responsables de la generación de ATP [29]. Los científicos han desarrollado una interesante “caja de nano-herramientas”, llena de nano-objetos tales como nanotubos [30], nanoalambres [31], trasladadores moleculares [32], conmutadores moleculares [33] y motores [34], los que fueron diseñados para cumplir funciones muy diversas. En esta sección del curso los alumnos indagarán sobre los principales ejemplares.

### 4. Ejemplo de caso: implementación en la carrera de Ingeniería Electromecánica

En la Universidad Tecnológica Nacional (Argentina), desde el año 2015 se implementó un nuevo espacio formativo con las características antes descritas. Este espacio formativo adoptó la forma de una asignatura electiva que se denomina “Materiales Avanzados y Nanotecnología”. La asignatura está destinada a alumnos de los últimos años de la carrera Ingeniería Electromecánica. A modo de ejemplo, se ofrece como información suplementaria a este trabajo el plan de desarrollo de la asignatura. En este caso en particular, el contenido incluye los ejes temáticos antes descriptos. Pero además contempla un espacio destinado a comentar a los estudiantes sobre la labor científica, ya que la generación de conocimientos es un posible ámbito de desarrollo profesional para un ingeniero. También se muestra cómo es el trabajo en el marco de proyectos I+D+i, se debate sobre innovación y propiedad intelectual. Estos temas resultan de utilidad ya que los estudiantes no los abordan en cursos anteriores y están íntimamente relacionados con la nanotecnología y el desarrollo tecnológico en general.

El interés en este tipo de cursos se pone de manifiesto a través de los resultados positivos obtenidos en encuestas realizadas a los estudiantes al finalizar el ciclo lectivo. En las encuestas se preguntó a los estudiantes acerca del desarrollo de contenidos, la relación de los contenidos con otras asignaturas, la relación entre la teoría y la práctica profesional, la metodología de enseñanza, los recursos didácticos, la evaluación, entre otros. También se preguntó a los estudiantes si llegaron a comprender los temas que se desarrollan, si el docente relacionó los contenidos con otras asignaturas de la carrera y si el estudiante logró estudiar la asignatura en forma regular y continua. Cada aspecto de la encuesta se cuantificó en

una escala de 0 a 4, donde 4 es la máxima puntuación. La misma encuesta se realizó al final de cada ciclo lectivo en todas las asignaturas de la carrera. Como resultado, los estudiantes manifestaron un alto grado de conformidad con la asignatura Materiales Avanzados y Nanotecnología, con valores promedio en cada aspecto encuestado superiores a 3, que para la mayoría de los aspectos encuestados resultó superior al promedio de las asignaturas de la carrera.

La satisfactoria incorporación y articulación de conocimientos se pone de manifiesto en el alto rendimiento académico, en donde 73% de los estudiantes aprobaron la asignatura mediante promoción directa, con calificaciones superiores a 8, en escala de 1 a 10. El 27% restante alcanzó la condición de alumno regular, es decir que se encuentran en condiciones de aprobar la asignatura mediante un examen que se lleva a cabo en alguna de las fechas preestablecidas para tal fin.

## 5. Conclusiones

La nanociencia y la nanotecnología son disciplinas emergentes que resultan transversales a todas las ramas de la ingeniería. La nanotecnología aparece como una alternativa de solución a muchos de los desafíos ingenieriles del siglo XXI. Sin embargo, la educación formal en ingeniería a menudo no incluye esta temática en sus planes de estudio. La misma se suele desarrollar recién en trayectos de formación de posgrado.

Este trabajo aborda una propuesta de cátedra destinada a complementar y actualizar la educación formal en ingeniería en el campo de la nanociencia y la nanotecnología. Se exponen los lineamientos a tener en cuenta en el diseño de un espacio formativo de grado. Como ejemplo, se muestra el caso recientemente implementado en la Universidad Tecnológica Nacional (Argentina). Se ofrece un resumen de los temas incluidos y se destaca su importancia. La propuesta tiene como objetivo proporcionar a los futuros ingenieros las herramientas para resolver desafíos tecnológicos aplicando el conocimiento científico del campo de la nanociencia. En otras palabras, se espera que este tipo de formación contribuya a que los futuros ingenieros se transformen en el nexo que lleve la nanociencia a la práctica en beneficio de la sociedad.

## Agradecimientos

Este trabajo se realizó mediante el apoyo de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) y del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

## Referencias

- [1] Mendoza, S.M., Exploiting molecular machines on surfaces, PhD Thesis, Zernike Institute for Advanced Materials, Groningen, The Netherlands, 2007.
- [2] Fahrner, W.R., W.R. (Ed.), Nanotechnology and nanoelectronics, Berlin Heidelberg. Springer-Verlag, 2005.
- [3] Bhushan Ed., Handbook of nanotechnology, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2004.
- [4] National Nanotechnology Initiative, [Online]. Available at: <http://nano.gov/nanotech-101/what/definition>
- [5] Balzani, V., Credi, A. and Venturini, M., Molecular devices and machines. *Nano Today*, 2(2), pp. 18-25, 2007.
- [6] Heerema, S.J. and Dekker, C., Graphene nanodevices for DNA sequencing, *Nature Nanotechnology*, 11, pp. 127-136, 2016. DOI: 10.1038/nnano.2015.307
- [7] Kim, K. et al., Man-made rotary nanomotors: A review of recent developments, *nanoscale*, 8, pp. 10471-10490, 2016.
- [8] Vance, M.E. et al., Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nonmaterial consumer products inventory, *Beilstein J. Nanotechnol.* 6, pp. 1769-1780. 2015.
- [9] Wijnhoven, S.W.P. et al., Nanomaterials in consumer products. Update of products on the European market in 2010. National Institute for Public Health and the Environment, RIVM Report 340370003. Bilthoven, The Netherlands, 2011.
- [10] Bhushan, B., Introduction to nanotechnology: History, status, and importance of nanoscience and nanotechnology education. Springer, 2016.
- [11] Foladori, G., Políticas públicas en nanotecnología en América Latina., *Revista Problemas del Desarrollo*, 186(47), pp. 59-81, 2016.
- [12] Listado de redes de nanotecnología en Latinoamérica y el mundo ver "Redes de Nanotecnología en el mundo". Red Nanoandes, [en línea]. Disponible en: <http://www.nanoandes.org/redes.html>
- [13] Pastrana, H.F., Ávila, A. y Moreno, G., Nanotecnología, patentes y la situación en América Latina., *Mundo Nano*, 5(9), pp. 57-67, 2012.
- [14] Rizkalla, M.E., Integration of knowledge in engineering/science via nanotechnology programs, 118th ASEE Annual Conference and Exposition, 2011.
- [15] Barakat, N. and Jiao, H., Proposed strategies for teaching ethics of nanotechnology., *Nano Ethics*, 4(3), pp. 221-228, 2010.
- [16] Malsch, I., Nano-education from a European perspective, *Journal of Physics: Conference Series*. 100(3), article number 032001, 2008.
- [17] Hersam, M.C. et al. Implementation of interdisciplinary group learning and peer assessment in a nano-technology engineering course, *Journal of Engineering Education*, 93(1), pp. 49-57, 2004.
- [18] Kroto, H.W. and Roco, M.C., Nanoscale science and engineering education. Edited by Aldrin E. Sweetney and Sudipta Seal, University of Central Florida, 2008.
- [19] Briggs, D. and Seah, M.P., Practical surface analysis by Auger and X-ray photoelectron spectroscopy, John Wiley & Sons, Norwich, 1983.
- [20] Jenkin, J.G. et al., The development of X-ray photoelectron spectroscopy: 1900-1960. *J. Electron Spectrosc.* 12, pp. 1-35, 1977.
- [21] Seigbahn, K. et al., ESCA-atomic, molecular and solid state structure studied by means of electron spectroscopy. *Nova Acta Reg. Soc. Sci. Upsaliensis*, Ser. IV(20), 1, 1967.
- [22] Knoll, M. and Ruska, E., Das Elektronenmikroskop, *Z. Physik*, v. 78, pp. 318-339, 1932.
- [23] Ruska, E. and Knoll, M., Die magnetische Sammelspule für schnelle Elektronenstrahlen., *Techn. Phys.-sik.* 12, pp. 389-400, 1931.
- [24] Binnig, G. et al., Tunneling through a controllable vacuum gap, *Appl. Phys. Lett.* 40, pp. 178-180, 1982.
- [25] Balzani, V. et al., Molecular-level devices and machines. *Angew. Chem. Int. Ed.* 39, pp. 3348-3391, 2000.
- [26] Key, E.R. et al., Synthetic molecular motors and mechanical machines. *Angew. Chem. Int. Ed.* 46, pp. 72-191, 2007.
- [27] Schliwa, M., Ed., Molecular motors, Wiley-VCH, Weinheim, 2003.
- [28] Grigoriev, D. et al., Encyclopedia of nanoscience and nanotechnology, edited by Hari Singh Nalwa, American Scientific Publishers, Indiana, v. 1, 361 P, 2004.
- [29] Noji, H. and Yoshida, M., The rotary machine in the cell, ATP synthase, *J. Biol. Chem.* 276(3), pp. 1665-1668, 2001.
- [30] Iijima, S., Helical microtubules of graphitic carbon, *Nature*, 354, pp. 56-5, 1991.
- [31] Okawa, Y. and Aono, M., Creation of conjugated polymer nanowires through controlled chain polymerization. *e-J. Surf. Sci. Nanotech.* 2, pp. 99-101, 2004.

- [32] Perez, E.M. et al., A generic basis for some simple light-operated mechanical molecular machines., J. Am. Chem. Soc. 126(39), pp. 12210-12211, 2004.
- [33] Feringa, B.L. (Ed.) Molecular switches, Wiley-VCH, Weinheim, 2001.
- [34] Leigh, D.A. et al., Unidirectional rotation in a mechanically interlocked molecular rotor, Nature, 424(6945), pp. 174-9, 2003.

**S.M. Mendoza**, recibió el título de Lic. en Química de la Universidad Nacional del Litoral, Argentina, en 2002. Luego, trabajó en el Zernike Institute for Advanced Materials de la Universidad de Groningen, Holanda, donde se avocó al estudio de máquinas moleculares en superficies. Allí obtuvo su PhD en 2007. Posteriormente y hasta el 2010 trabajó para TNO (Holanda) como líder de proyectos, logrando innovaciones en tecnología de materiales lignocelulósicos. Actualmente se desempeña como investigadora del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y como profesora de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) en carreras de ingeniería, con sede en la ciudad de Reconquista, Argentina. Sus temas de interés son el estudio de materiales avanzados y nanotecnológicos, con énfasis en la caracterización de superficies.  
ORCID: 0000-0003-1691-0052.