

# Projects Address Integrator in Electronic Engineering with CDIO Methodology

Hernán Paz Penagos, PhD.<sup>1</sup>, Marco Ortiz Niño, Ing.<sup>2</sup>, and Johnny Arévalo López, Ing.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Distrital Francisco José de Caldas, hernan.paz@escuelaing.edu.co

<sup>2</sup> Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”, Colombia, marco.ortiz@escuelaing.edu.co,  
johnny.alexander@escuelaing.edu.co

*Abstract— The vision of the international educational project CDIO Initiative, framing the undergraduate engineering education in the context of conceiving, designing, implementing and operating systems and real-world products, has led to the research and development of new teaching strategies teaching engineering in the world. Much of the experiences seek to articulate a curriculum around the mutual support between disciplines, develop professional skills, personal and interpersonal skills in the student. In this context, a study of instrumental and multiple cases of three students last semester of electrical engineering to solve problems on design and development of a satellite backup channel with the addresses of integration projects and CDIO methodology is presented. The educational intervention focused on the student, he was guided by the teacher as facilitator of the process, and led to the emergence of the subject well informed to promote their independent learning with responsibility and the integration of basic concepts of its own knowledge with other knowledge involved in resolution of the problem situation. The results showed evidence of improvements in autonomous learning responsibly and advances in interdisciplinary broach students considered for the case study. However, the Eigen modes followed in resolving the problem led to the discovery that the absence of a higher level of consciousness in their learning processes and regulation of it is not independent, and that the former is an important limitation on the time to solve an issue.*

*Keywords— Capstone Project, CDIO, autonomous learning, interdisciplinary approach*

**Digital Object Identifier (DOI):** <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.154>

**ISBN:** 13 978-0-9822896-8-6

**ISSN:** 2414-6668

**13<sup>th</sup> LACCEI Annual International Conference:** “Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?”  
July 29-31, 2015, Santo Domingo, Dominican Republic

**ISBN:** 13 978-0-9822896-8-6

**ISSN:** 2414-6668

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.154>

# Aborde de Proyectos Integradores en Ingeniería Electrónica con Metodología CDIO

Hernán Paz Penagos, PhD<sup>1</sup>, Marco Ortiz Niño, Ingeniero Electrónico<sup>2</sup>, y Johnny Arévalo López, Ingeniero Electrónico<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Distrital Francisco José de Caldas, hernan.paz@escuelaing.edu.co

<sup>2</sup>Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”, Colombia, marco.ortiz@escuelaing.edu.co

<sup>3</sup>Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”, Colombia, johnny.alexander@escuelaing.edu.co

**Resumen** – La visión del proyecto educativo internacional Iniciativa CDIO, que enmarca la formación de ingenieros de pregrado en el contexto de concebir, diseñar, implementar y operar sistemas y productos del mundo real, ha motivado la investigación y desarrollo de nuevas estrategias didácticas de la enseñanza de la ingeniería en el mundo. Gran parte de las experiencias realizadas buscan articular un plan de estudios en torno al apoyo mutuo entre disciplinas, desarrollar competencias profesionales, habilidades personales e interpersonales en el estudiante. En este contexto, se presenta un estudio de casos instrumental y múltiple de tres estudiantes de último semestre de ingeniería electrónica que resuelven problemas sobre diseño y desarrollo de un canal de respaldo satelital con el aborde de proyectos integradores y metodología CDIO. La intervención didáctica se centró en el estudiante, estuvo orientado por el profesor, como facilitador del proceso, y propició la emergencia del sujeto bien informado para favorecer su aprendizaje autónomo con responsabilidad y la integración de conceptos fundamentales de su propio saber con otros saberes implicados en resolución de la situación problemática. Los resultados mostraron evidencias sobre mejoras en aprendizaje autónomo con responsabilidad y avances en abordos interdisciplinarios de los estudiantes considerados para el estudio de casos. No obstante, los modos propios seguidos en la resolución del problema permitieron descubrir que la ausencia de un mayor nivel de conciencia en sus procesos de aprendizaje y regulación del mismo no es independiente, y que los primeros constituyen una limitación importante en el momento de resolver un problema.

**Palabras clave** – Proyecto integrador, CDIO, aprendizaje autónomo, abordos interdisciplinarios.

**Abstract** –The vision of the international educational project CDIO Initiative, framing the undergraduate engineering education in the context of conceiving, designing, implementing and operating systems and real-world products, has led to the research and development of new teaching strategies teaching engineering in the world. Much of the experiences seek to articulate a curriculum around the mutual support between disciplines, develop professional skills, personal and interpersonal skills in the student. In this context, a study of instrumental and multiple cases of three students last semester of electrical engineering to solve problems on design and development of a satellite backup channel with the addresses of integration projects and CDIO methodology is presented. The educational intervention focused on the student, he was guided by the teacher as facilitator of the process, and led to the emergence of the subject well informed to promote their independent learning with responsibility and the integration of basic concepts of its own knowledge with other knowledge involved in resolution of the problem situation. The results showed evidence of improvements in autonomous learning responsibly and advances in interdisciplinary broach students considered for the case study. However, the Eigen modes followed in resolving the

problem led to the discovery that the absence of a higher level of consciousness in their learning processes and regulation of it is not independent, and that the former is an important limitation on the time to solve an issue.

**Key words** – Capstone Project, CDIO, autonomous learning, interdisciplinary approach

## INTRODUCCIÓN

El propósito de la enseñanza de la ingeniería es proporcionar la formación adecuada que se requiere para preparar ingenieros con experiencias pertinentes en el campo técnico, pensamiento social y capacidad de innovación y/o transferencia. En esta perspectiva, surge la iniciativa CDIO, que contempla la enseñanza de conceptos fundamentales de la disciplina, el aprendizaje activo basado en experiencias y el trabajo interdisciplinario para la concepción-diseño-implementación y operación de productos, procesos y sistemas de valor agregado en la ingeniería moderna.

Contextualizados en la metodología CDIO, se examinaron los resultados de autoevaluación relacionados con procesos académicos (Factor 4), que fueron realizados por el programa de Ingeniería electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería JULIO GARAVITO para la acreditación de alta calidad en los años 2006, 2010 y 2014. De esta pesquisa se evidenció la enseñanza con enfoque positivista de conceptos fundamentales, algunas veces, descontextualizados y, la gran mayoría de veces, desarticulados por semestre y dentro del mismo curso. En este marco de referencia y teniendo en cuenta que el proyecto de formación de ingeniería electrónica dispone de diversas formas de acceder al conocimiento y, a la vez, establece los criterios académicos para regular las relaciones entre los profesores y los estudiantes, se propuso introducir proyectos integradores (en adelante PI) graduales en tres momentos de la formación del estudiante; así: primer proyecto integrador con nivel básico: PI-NB, para cuarto semestre; segundo proyecto integrador con nivel intermedio: PI-NI, para séptimo semestre y tercer proyecto integrador con nivel avanzado: PI-NA, para decimo semestre.

El alcance propuesto del PI es permitir al estudiante su aprendizaje con la debida apropiación metodológica, integración de conocimientos involucrados en el proyecto,

construcción conceptual y trabajo interdisciplinar en un tiempo adecuado y sin la premura de la “cumplir por cumplir”. Con los PI-NB se busca principalmente el fortalecimiento de competencias investigativas básicas y la comprensión de conceptos de ciencias básicas (relaciones entre cantidades, magnitudes y propiedades, operaciones lógicas, leyes físicas), que sirvan de fundamentación a un proceso de integración del conocimiento y formación permanente; así mismo, que el estudiante pueda contextualizar la actividad académica en las necesidades del entorno y en los propósitos y oportunidades nacionales de desarrollo. Se espera como producto final un PI que involucre elementos conceptuales y metodológicos básicos para plantear, representar y comprender un problema.

Los PI-NI, que se propone desarrollar en séptimo semestre, pretenden además del fortalecimiento de competencias investigativas, la apropiación de competencias para la resolución de un problema, como modelamiento y diseño, incluyendo el uso de buenas prácticas, y habilidades de simulación y análisis necesarias en un estudiante de este nivel. Se espera como producto final hardware y software integrados en un dispositivo, y un documento final de proyecto que involucre aspectos metodológicos y técnicos relacionados con el modelamiento, diseño y construcción de dicho artefacto o sistema que sea alternativa de solución al problema planteado.

Finalmente los PI-NA busca favorecer el razonamiento, la resolución de problemas en ingeniería con más de una alternativa de resolución, la experimentación y el descubrimiento del conocimiento desde un pensamiento sistémico, creativo, crítico, y con ética profesional; se espera que el estudiante planifique su actividad en forma eficiente y responsable y tenga el compromiso de aprender por su propia cuenta y el profesor sirva como guía, orientador y facilitador del proceso; así mismo, evidencie la integración de conceptos fundamentales de su propio saber con otros saberes implicados en resolución de la situación problemática.

En resumen el propósito de los PI es propiciar un aprendizaje gradual y progresivo de conocimientos disciplinares e interdisciplinares mediante la integración de conceptos fundamentales y su aplicación en el desarrollo de un proyecto (PI-NB, PI-NI o PIU-NA), bajo la guía de un grupo de docentes. Las características de la estrategia son: secuencia, continuidad, información durante el proceso de interconexión de los diferentes bloques, aprendizaje situado (Paz, 2007), aprendizaje por descubrimiento (Shulman and Keislar, 2000), y aprendizaje significativo.

La intervención didáctica que permitió evidenciar algunos avances en aprendizaje autónomo con responsabilidad y abordos interdisciplinares en tres estudiantes de décimo semestre del programa, se hizo con el “Desarrollo de una solución tecnológica inalámbrica con cobertura universal para la localización y seguimientos de activos móviles que sea compatible con los sistemas GPRS ya existentes. Este PI-NA es una respuesta alternativa a la pregunta inicial sobre el problema

¿cómo habilitar en una GPRS (unidad AVL) existente, que tiene cobertura celular, un canal de respaldo satelital que permita comunicación universal para cualquier tipo de aplicación que lo requiera

## MARCO DE REFERENCIA

### *Proyecto integrador:*

Se perfila como un elemento estratégico en la formación de ingenieros para la definición de acciones formativas, donde la comunidad académica (estudiantes y docentes), centrados en la curiosidad como elemento motivador, se inicia en procesos de búsqueda, indagación, integración de conocimientos fundamentales y su aplicación para enfrentar la incertidumbre generada por el conocimiento de la realidad; esto implica una interacción dinámica entre los actores del proceso formativo y el contexto de actuación, mediadas por búsquedas planificadas y sistemáticas que propenden por la aplicación del conocimiento integrado, un aprendizaje autónomo y permanente con responsabilidad y abordos interdisciplinares para la resolución de problemáticas pertinentes.

La formación de ingenieros electrónicos mediante la estrategia PI es de base científica y de carácter fundamental, aplicado e interdisciplinario, y se evidencia en la adquisición progresiva de competencias como autonomía, habilidad para el abordos interdisciplinario, indagación científica, autoaprendizaje, comprensión de la realidad, creatividad, compromiso social, trabajo en equipo y comunicación.

En este sentido, el PI se constituye en un punto de convergencia de las funciones sustantivas: investigación, docencia y extensión, y consecuentemente representa el punto de confluencia entre los modos de aprendizaje del estudiante, los procesos de enseñanza, el saber disciplinar y las necesidades del contexto. Los proyectos integradores se orientan hacia la hipótesis de que los individuos desarrollan hábitos y habilidades de interpretación y fomenta pensamiento hipotético deductivo a través de un proceso de integración de conceptos y socialización, más que de instrucción.

Esta estrategia implica el aprendizaje situado, por descubrimiento e integrador para que sea significativo. El aprendizaje situado, enfatiza la actividad, la experiencia, el contexto, la cultura, la mediación, la construcción conjunta de significados y los mecanismos de participación guiada (Paz, 2011); En esta perspectiva Rogoff (1993) afirma que los estudiantes comprenden más sobre cualquier actividad, a partir de su participación directa; lo que se ha dado en llamar la comunidad de práctica, dentro de la cual se realiza dicha actividad. En el aprendizaje por descubrimiento, el estudiante se convierte en autodidacta para comprender ciertos conceptos importantes involucrados en la solución del problema. El aprendizaje del estudiante es significativo cuando comprende (integrando y aplicando conceptos fundamentales) los

conceptos principales que conducirán a la resolución adecuada del problema planteado. Otras características de los PI son:

- Secuencia y continuidad. La solución obtenida por los estudiantes puede usarse como un nuevo bloque de conocimiento.
- Integración de conceptos. Los estudiantes desarrollan las trayectorias de aprendizaje para interconectar los bloques de conocimiento y así obtener una solución al problema dado.
- Información durante la conexión de los bloques. El estudiante recibe la retroalimentación del maestro durante el proceso de aprendizaje.

Los principios básicos de la estrategia se centra en el respeto la autonomía del estudiante, quien revisa los conceptos fundamentales involucrados en el problema y los integra con ayuda del profesor, en el momento de concebir y diseñar una alternativa de resolución; así mismo, incorpora sus conocimientos previos y la propia experiencia de trabajo en la dinámica de resolución; este principio potencia su autoestima, la toma de conciencia de lo que es capaz, sus hábitos de independencia, de selección, de emprender actividades y de tomar decisiones razonadamente por sí mismo; además les da la posibilidad de identificar otras alternativas de epistemologías en torno al problema que enfrentan y del cual aprenden. El conocimiento se desarrolla mediante el reconocimiento y aceptación de los procesos sociales y de la evaluación de las diferentes interpretaciones individuales del mismo fenómeno (Forman y Cazden, 1995).

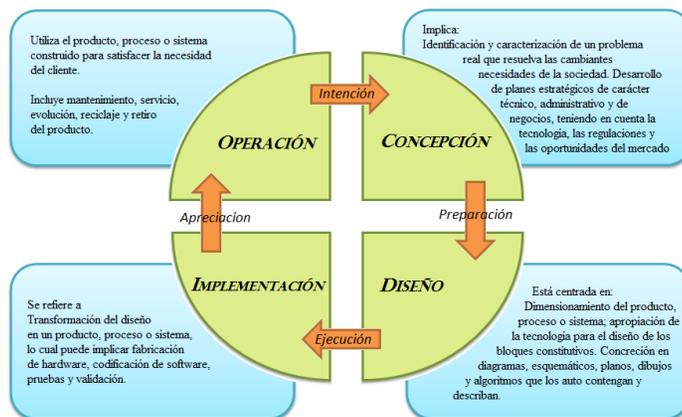
En la aplicación en el aula de esta estrategia el profesor no se adapta al estudiante para dejarlo donde está, sino para provocar por anticipación que el estudiante avance; privilegia el pensamiento científico y el desarrollo de habilidades de negociación, de toma de decisiones y de justificación de lo que piensan, que correspondan a las necesidades de la sociedad del conocimiento (Motsching y Figl, 2007). Es preciso conocer las características del estudiante, sus conocimientos previos, para avanzar partiendo de lo que dominan y ayudarles a llegar al objetivo trazado. Los estudiantes toman la responsabilidad de aprender, localizan recursos, participan activamente en la resolución del problema, identifican necesidades de aprendizaje, investigan, aprenden, aplican y resuelven problemas.

Con el desarrollo de PI en ingeniería también se busca la formación de competencias personales, empresariales y gerenciales que además de sus conocimientos fundamentales y de aplicación, puedan insertarse correcta y oportunamente en las unidades productivas en las que les corresponderá participar a los ingenieros para continuar siendo agentes activos y transformadores de los procesos de innovación económica y social.

## METODOLOGÍA CDIO:

Es un enfoque de formación en ingeniería propuesto por la Accreditation Board of Engineering and Technology (Crawley et al., 2007), cuyo propósito es la dominar con profundidad los fundamentos técnicos, liderar la creación y operación de nuevos productos, procesos y sistemas y, finalmente, entender la importancia y el impacto estratégico de la investigación y el desarrollo tecnológico en la sociedad (Berggren et al., 2003).

Tiene como marco de referencia, el ciclo de vida del producto, proceso o sistema, que va desde la concepción hasta la operación. Cuenta con las fases que se muestran en la siguiente figura.



**Figura 1.** Fases del enfoque de formación en ingeniería CDIO

## APRENDIZAJE AUTÓNOMO Y TRABAJO INTERDISCIPLINAR:

La autonomía en el sentido Kantiano, expresa la facultad de juicio debido a la capacidad que adquiere un sujeto para saberse conducir con arreglo a las leyes morales. En el campo de la educación se recurre a él, para orientar los procesos de formación del estudiante.

Un estudiante autónomo se caracteriza por su conducta de autorregulación y autoestima, autoconcepto y auto competencia que tenga para realizar tareas. En este sentido, Tovar (2005) plantea que, a través de estrategias metacognitivas el sujeto actúa y resuelve problemas eficazmente, utiliza creativamente herramientas para dirigir sus aprendizajes y, en últimas, adquiere autonomía. La autonomía puede ser una característica innata del sujeto o se puede formar y desarrollar a través del estudio, la experiencia o la enseñanza. Es un ideal a alcanzar, pero se puede lograr diferentes grados o niveles de independencia.

El *aprendizaje autónomo* es un concepto teórico y práctico desarrollado en los trabajos de Knowles (1975) y relacionado con su propuesta de formación para toda la vida. Esta se refiere al proceso en el cual, los individuos toman la iniciativa, con o sin ayuda de otros, para diagnosticar sus necesidades de

aprendizaje, formular sus metas, identificar los recursos para aprender, seleccionar las estrategias de aprendizaje apropiadas y evaluar los resultados de aprendizaje. La capacidad para dirigir un proceso de aprendizaje está estrechamente ligado con la motivación del sujeto, con el uso de sus enfoques de aprendizajes y el empleo de las estrategias de aprendizaje (Paz, 2012).

Según Piaget (1973), la *interdisciplinariedad* esta después de la multidisciplinariedad y antes de la trasdisciplinariedad; es decir, corresponde al segundo nivel de asociación entre disciplinas o campos de saber, que comparten -o por lo menos aproximan-, sus marcos teóricos y metodológicos, y entre los cuales se llevan a cabo interacciones y cooperaciones constructivas en una verdadera reciprocidad de intercambio para la integración y síntesis. Existen varios enfoques: el primero, referido a los temas que a través de ejes transversales busca reforzar visiones amplias y totalizadoras del objeto de estudio; el segundo, alusivo a las estrategias metodológicas o parte de estas, que organizadas y complementadas adecuadamente movilizan nuevos recursos y esquemas de trabajo colaborativo que contribuyen en la resolución del problema (Gómez, 2001). El abordaje interdisciplinar para esta investigación se realizó desde el primer enfoque.

Es sabido que una enseñanza concebida bajo la forma de disciplinas aisladas difícilmente puede alcanzar objetivos que no sean los cognitivos que le son específicos, a menudo muy limitados (Hiebert y Lefevre, 1986); implícitamente se distancian de finalidades más complejas como por ejemplo la autonomía intelectual, la actitud democrática y colaborativa que pueden desarrollarse aún más, integrando perspectivas tanto teóricas como metodológicas.

#### METODOLOGÍA

La propuesta metodológica de este estudio se enmarca en la investigación educativa de carácter cualitativo en ingeniería, articulada a través de un estudio de casos instrumental y múltiple. El propósito fue resolver la pregunta de investigación *¿cómo habilitar en una GPRS (unidad AVL) existente, que tiene cobertura celular, un canal de respaldo satelital que permita comunicación universal para cualquier tipo de aplicación que lo requiera?*

Las hipótesis de trabajo fueron: **Hipótesis No 1:** Podría ser que los abordajes interdisciplinarios propiciados a través del PI-NA, movilice en el estudiante nuevos recursos y esquemas de trabajo colaborativo. **Hipótesis No 2:** Se creería que el trabajo de laboratorio implicado en el desarrollo del PI-NA, realizado en pequeños grupos y modulado mediante el papel facilitador del profesor, contribuye en el aprendizaje autónomo con responsabilidad de los tres estudiantes considerados en el estudio de casos.

El interés de utilizar un estudio de casos instrumental y múltiple en la investigación fue evidenciar y documentar el

aprendizaje autónomo con responsabilidad y los abordajes interdisciplinarios de tres estudiantes desde sus actuaciones y verbalizaciones en la resolución de la situación problemática planteada arriba (fases de Intención y preparación: comprensión; resolución: Ejecución - software, hardware e interfaces de comunicación, con requerimientos deseados y restricciones realistas, para la construcción del dispositivo OSP/Satelital-; y Apreciación: presentación de resultados)

Los instrumentos utilizados para la toma de datos fueron transversales y consistieron en la monitorización y el registro sistemático y objetivo de los fenómenos que ocurrieron a lo largo del proceso desarrollado por los tres estudiantes que conforman el estudio de casos. Se seleccionaron dos medios de observación: directa y participante con los sujetos, y grabaciones de video y audio del trabajo en grupo en las secciones de laboratorio. Los observadores participantes fueron dos un docente conocedor de los temas involucrados en el desarrollo del PI-NA y un ingeniero egresado co-investigador del proyecto, que tomaron sus registros a partir del formato preestablecido. Se escogió este instrumento de medición porque pone al descubierto las actuaciones y verbalizaciones de los estudiantes en su trabajo académico grupal; además, es una técnica desprevenida, no-obstrusiva que pretende revelar conductas manifiestas que fueron estimuladas por otros factores ajenos al mismo instrumento.

Para orientar la transcripción de las improntas de observación del audio y video, y del observador participante, hacia el análisis y la interpretación comprensiva de las verbalizaciones y actuaciones de interés para el investigador, se estableció un formato de codificación, que contiene variables, categorías, intencionalidad e indicadores que se muestran a continuación.

TABLA I.  
CÓDIGOS, CATEGORÍAS, SUBCATEGORÍAS E INDICADORES PARA IDENTIFICAR TRABAJO INTERDISCIPLINAR Y APRENDIZAJE AUTÓNOMO CON RESPONSABILIDAD TANTO EN LAS ACTUACIONES COMO VERBALIZACIONES DE LOS ESTUDIANTES CONSIDERADOS PARA EL ESTUDIO DE CASOS

Categorías	Sub-categorías de observación	Indicadores	Intencionalidad
1. Trabajo interdisciplinar	1.1. <b>Aborde interdisciplinar para la comprensión del problema:</b> El estudiante o grupo de estudiantes: ¿Hace abordajes interdisciplinarios	A-¿Visualiza y representa el carácter sistémico y complejo de la realidad involucrados en el problema?: SI __ NO __ B- En la comprensión del problema ¿Hacen aproximaciones a	Las sub-categorías 1.1 y 1.2 corresponden a la manifestación de una visión interdisciplinar del estudiante al comprender y tratar de resolver el problema, indaga sobre iniciativas del estudiante en este sentido.
	1.2. <b>Aborde interdisciplinar para la resolución del problema:</b> El estudiante o grupo de estudiantes: ¿Hace abordajes	A-¿Discierne la pertinencia de tener en cuenta información disponible en otros campos del saber para resolver el problema?: SI __ NO __ B-¿Aplican conocimientos adquiridos en otros	

2. Aprendizaje autónomo con responsabilidad	<p><b>2.1. Indicios de autonomía en el afrontamiento de la resolución y presentación de resultados.</b></p> <p>En la determinación de la mejor manera de llegar a la resolución del problema planteado y de exponer los resultados, los estudiantes considerados para el estudio de casos dan indicios de autonomía.</p>	<p>A-¿Toman decisiones? : SI __ NO __</p> <p>B-¿Justifican las decisiones tomadas? : SI __ NO __</p> <p>C-¿Seleccionan los recursos requeridos para la RP? : SI __ NO __</p> <p>D-Reflexiona y discierne sobre los planes de acción a seguir en la resolución del problema?: SI __ NO __</p> <p>E-¿Realizan trabajo independiente, por ejemplo experimentos? : SI __ NO __</p> <p>F-¿Discierne por sí mismo las vías de solución? : SI __ NO __</p> <p>G-¿Analiza y evalúa la consistencia de lo que dice y hace para presentar los resultados del trabajo? : SI __ NO __</p> <p>H- ¿Analiza y evalúa la consistencia de las propias ideas? : SI __ NO __</p> <p>I-¿Cuestionan con argumentos otras posiciones? : SI __ NO __</p>	<p>La sub-categoría 2.1 corresponde a la toma de decisiones, el trabajo independiente y la autonomía en los procesos de resolución de problemas y presentación de los resultados</p>
---------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Los supuestos pedagógicos desde los cuales se analizan el trabajo interdisciplinar y el aprendizaje autónomo con responsabilidad desplegado por los estudiantes, considerados para el estudio de caso, son los siguientes: 1) Todo aprendizaje es un cambio significativo de comportamiento, en cuanto se da como una red de significaciones, que influye no solo en la manera como el sujeto se representa la realidad, sino que define su manera de relacionarse y actuar sobre ella, 2) En el aprendizaje grupal, el cambio de comportamiento se da como resultado de la interacción en la construcción del conocimiento, esto significa que la didáctica del conocimiento científico se orienta hacia procesos dinámicos de construcción colectiva, colaborativa y con sentido, para su apropiación, comprensión y cambio, 3) Es un proceso de elaboración conjunta, en el cual el conocimiento no aparece como algo terminado que puede transmitirse del profesor al estudiante, 4) El grupo es fuente generadora de experiencias de aprendizaje, 5) El aprendizaje en grupo es un proceso de transformación mutua, la persona cambia por influencia del grupo y éste se modifica por acción de sus miembros.

En este sentido, la recogida y el análisis de los datos, la validación de los resultados mediante la interpretación y triangulación de la información se fueron realizando simultáneamente e interfiriendo mutuamente (Stake, 1999), lo cual implicó un proceso continuo de toma de decisiones.

El estudio se llevó a cabo en la Escuela Colombiana de Ingeniería JULIO GARAVITO ubicada en Bogotá DC. Los informantes del estudio son tres estudiantes de décimo semestre de ingeniería electrónica. El contenido del PI-NA versó sobre el tema de comunicaciones de radio con cobertura celular y satelital. Sobre las experiencias de desarrollo de proyectos grupales de los tres estudiantes se puede afirmar que se reducen al desarrollo de trabajos prescriptivos o resolución de ejercicios problemas que pierden el carácter de verdaderos problemas. Los estudiantes gozan de libertad para comentar los ejercicios con los compañeros, así como pedir aclaraciones y orientaciones al profesor. Las actividades que se les presentan no están enfocadas a que los estudiantes integren conceptos fundamentales y establezcan diálogos con otros saberes disciplinares para descubrir nuevos conceptos y procedimientos, sino que traten de comprenderlos y replicarlos, una vez son leídos en las guías o expuestos por el profesor.

El tiempo que se dispuso para el estudio de casos fue seis meses (1 marzo al 31 de julio del 204) y la presencialidad del mismo correspondió a la asignada por prestación de servicios como monitores del proyecto por 15 horas semanales, de las cuales 5 horas correspondían a trabajo independiente del estudiante, generalmente dedicado para la documentación o redacción de informes, y diez horas de trabajo en el laboratorio.

Como parte de la metodología de trabajo para el involucramiento de los tres estudiantes de último semestre de ingeniería electrónica en el “Desarrollo de una solución tecnológica inalámbrica (GPRS/GPS) para la localización y seguimiento de activos móviles, que sea compatible con los sistemas GPRS ya existente”, previsto como proyecto integrador para dichos estudiantes, se establecieron tres fases: 1) Intención y preparación, 2) Ejecución y 3) Apreciación, que estuvieron en correspondencia con los objetivos específicos de la investigación y la metodología CDIO, estas fueron: en la primera se estudian las coordenadas teóricas fundamentales e identifican datos y medios necesarios para la comprensión y resolución del problema enunciado arriba. En la segunda, se diseña, implementa y simula una alternativa de resolución del problema aplicando los criterios y medios pertinentes; los resultados de la simulación permitieron ajustar el diseño y la construcción del dispositivo OSP/Satelital. En la última, se puso en servicio u operación el dispositivo, y se evalúa el trabajo realizado en relación con objetivos previstos.

Se observaron y analizaron los procesos de resolución desde el punto de vista de aprendizaje autónomo y abordos interdisciplinares de los mismos estudiantes, a partir de la contrastación entre sus verbalizaciones y actuaciones (Cómo actuaron), con el fin de indagar e interpretar los cambios en dichas dimensiones.

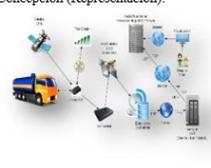
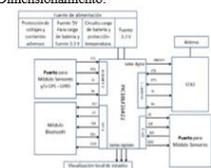
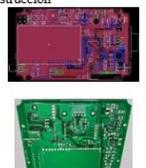
En la representación, comprensión y resolución del problema se recurrió a la deliberación y un ambiente académico

abierto y de colaboración, producción colectiva y aportes particulares de cada integrante del grupo de trabajo, transparencia y voluntad de participación que contribuye en aprendizajes del estudiante con características situadas, por descubrimiento, significativo y basado en PI. En esta perspectiva, afirma Duell (1986) que la autonomía y la toma de conciencia se propician a partir de colocar en dinámica todos los enfoques posibles y en dar la posibilidad al estudiante de negociar los contenidos que debe aprender, en utilizar adecuadamente los recursos y en tomar decisiones sobre la resolución más innovadora. Los estudiantes que tienen más éxito al aprender, son aquellos que saben qué y cómo aprenden, porque pueden tomar decisiones informadas respecto a su saber, pensamiento y actuación, y a través de ellas, son capaces de dirigir y controlar sus propios aprendizajes.

El plan de la estrategia PI-NA se centró en la generación de acuerdos y compromisos entre los “integrantes del grupo que resuelven el problema”, también fue una manera de organizar actividades en el laboratorio y de trabajo independientes. La dinámica del trabajo con los estudiantes involucro elementos de liderazgo, consenso y participación; claridad y transparencia (confianza y seguridad); organización y coordinación; articulación con la planificación y calidad de la información. Por tanto fue un plan de acción generado por el docente y los tres estudiantes con una finalidad contextualizada, al integrar contenidos de comunicaciones vía radio que promuevan la construcción de aprendizajes significativos.

### RESULTADOS

Como parte de los resultados de la estrategia PI-NA aplicada a tres estudiantes considerados para el estudio de casos y guiada por el enfoque CDIO, en la siguiente figura se muestra algunas evidencias metodológicas y de logros técnicos alcanzados en el desarrollo de las tres fases del proyecto.

Representación del problema: Concepción	Resolución: Diseño e Implementación	Presentación de resultados: Operación
Coordenadas teóricas: Señales, comunicaciones pasabanda: celulares - GSM, satelitales - LEO, teoría de información y canal de radio.	Aproximación de los marcos teóricos y metodológicos técnicos a los marcos legal (funcionamiento), medio ambiental (funcionamiento) del dispositivo.	Elaboración de resúmenes y cuadros sinópticos Organización de presentación Planneria, exposición de resultados
Integración de topicos 	Abordos interdisciplinarios y trabajo autónomo 	Retroalimentación y ajustes: 
Concepción (Representación): 	Especificaciones técnicas: 	Operación: 
Dimensionamiento: 	Construcción 	Puesta en servicio: 

**Figura 2.** Algunos resultados técnicos y metodológicos alcanzados grupalmente en el desarrollo del PI-NA

Los tres estudiantes reconocieron la existencia de un problema y a partir de esto hicieron su representación para comprenderlo y finalmente resolverlo. Como lo muestra la siguiente anterior, columna 1, el problema se representó mediante redes de relaciones en los cuales se destacan como contenidos relevantes las señales y los sistemas de comunicación pasa banda, la teoría de la información y el medio de transmisión inalámbrico. Así mismo emergen los conceptos de información digital, canal de comunicaciones, satélites de órbita baja, Globalstar, trazabilidad, activos móviles ancho de banda, ruido, potencia de la señal, protocolo e interfaz.

Para la representación del problema los estudiantes desplegaron capacidades cognitivas genéricas: interpretación, comprensión, análisis, transferencia y comunicación de la información; pensamiento relacional; formas de razonamiento: inductivo analógico e hipotético y conocimiento estratégico, sistematizado en dos procesos básicos: trabajo hacia atrás, mediante la utilización de alguna situación problemática parecida, utilizando los conocimientos anteriores que se relacionaban con el problema. Para lo cual, se hizo preguntas del tipo: ¿conozco algún problema relacionado o semejante?, ¿puedo resolverlo utilizando mis conocimientos y experiencia pasada?, ¿puedo reordenar los datos de otra forma para que se relacione con mi experiencia pasada?, y trabajando hacia delante, en esta perspectiva, se reformularon los datos del problema de otra forma para que se relacionara con los conocimientos del estudiante. Así las cosas, se plantearon preguntas similares a estas: ¿puedo formular los datos del problema de una nueva forma para que se relacione con problemas que conozco?, ¿puede enunciarse el problema de forma diferente? En buena parte de la práctica docente en ingeniería se observa cómo los estudiantes utilizan más las

estrategias de funcionamiento hacia atrás y las de análisis de medios y fines, que la de trabajo hacia delante, en la cual el problema busca reformularse para que se relacione con los esquemas cognitivos del estudiante.

Los tres estudiantes mencionados demostraron recursividad para integrar conceptos fundamentales con el uso de técnicas facilitadoras como el listado de atributos, la red de relaciones, el mapa conceptual, diagramas, esquemas y otros; en éstos se registraban términos, conceptos, patrones y conexiones con los cuales se buscaba reconvertir ideas abstractas y vagas en concretas, útiles y realizables, que integradas a las nuevas, contribuyeran en la comprensión y resolución del problema.

En la resolución del problema se observó en los tres estudiantes una evolución en aprendizaje autónomo, toma de decisiones, flexibilidad en el razonamiento, abordos interdisciplinarios y puesta en marcha de estrategias como: análisis, experimentación y simplificación.

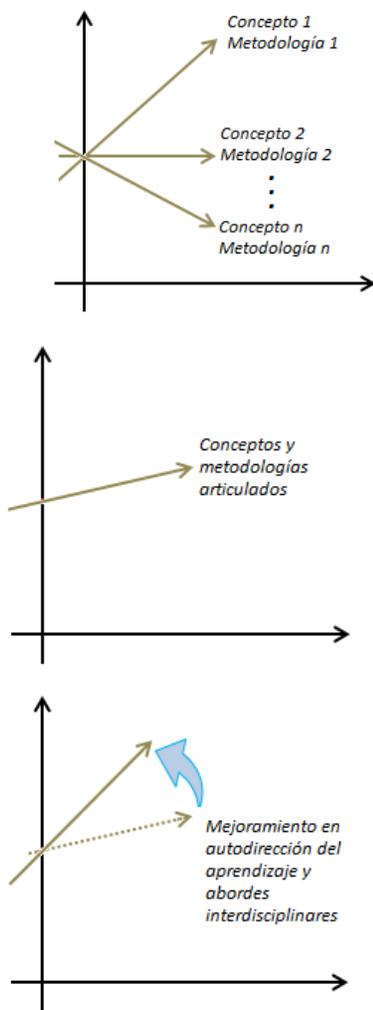
Se indagó cómo los estudiantes considerados para el estudio de casos hacen abordos interdisciplinarios durante las fases comprensiva y resolutoria del problema para desarrollar representaciones, establecer condiciones, desarrollar inferencias, organizar razonamientos, recuperar esquemas de resolución, diseñar estrategias y confrontar diferentes supuestos y enfoques de resolución, y se obtuvo los siguientes hallazgos: Al principio se identificó en los tres estudiantes un tratamiento muy mecánico de la resolución del problema, al partir siempre de datos, que le impide hacer un análisis cualitativo y holístico del problema planteado. Sólo piensa en operaciones. No explora otros enfoques, como el sistémico, implicados en la resolución de problemas y que son necesarios en ingeniería para hacer abordos interdisciplinarios en contexto con propósitos de hacer transferencia de información para enriquecer el marco teórico o metodológico para la resolución del problema. Al final de la experiencia académica del PI-NA, los estudiantes considerados para el estudio de casos se arriesgaron con el propósito de trascender el campo del conocimiento de las comunicaciones de radio. Revisaron algunos conceptos sobre regulación, normatividad, emisiones electromagnéticas. Sin embargo, no lograron crear un nuevo mapa cognitivo común con otras disciplinas, tampoco avanzaron hacia un marco epistémico amplio que les permitiera integrar conceptualmente las diferentes orientaciones de sus análisis, perspectivas o enfoques. Una razón por la cual los estudiantes avanzaron lentamente en abordos interdisciplinarios, se debió a que la sistematización e integración de lenguajes, epistemologías, términos, datos y procedimientos con otras disciplinas representaban serias dificultades para las cuales los estudiantes no estaban preparados. Así mismo, la necesidad de buscar respuestas comunes a un problema que era distinto, provocó situaciones nuevas tanto en lo teórico como en lo metodológico, que los mismos estudiantes no decidieron asumir.

La autonomía de los estudiantes considerados para el estudio de casos se puso de manifiesto en la independencia académica del pensamiento y madurez para presentar resultados parciales del trabajo, elaborar informes, implementar y realizar prácticas de laboratorio de prueba parciales, recoger y analizar los resultados y compararlos para la toma de decisión sobre la solución óptima del problema.

Está demostrado que los estudiantes asumen compromisos efectivos con los procesos de aprendizaje, cuando se identifican con el objetivo propuesto y tienen responsabilidad sobre los resultados a alcanzar. En este sentido los estudiantes considerados para el estudio de casos negociaron con el profesor temas, objetivos, actividades; así como, tiempos, espacios para su realización, que los implicaron y comprometieron con su desarrollo y consecución de la meta. Otro aspecto importante del estudiante autónomo es que se caracteriza por su conducta de autorregulación, autoestima, autoconcepto y auto competencia que tenga para resolver un problema.

La resolución de problemas en la modalidad colegiada, participativa y colaborativa: grupal e intergrupal, propiciada a través de diseño didáctico estimularon estrategias autorregulativas que tributaron en autonomía con responsabilidad, en la medida en que les permitió a los estudiantes revisar, comparar, controlar y evaluar las estrategias y las soluciones, en un proceso de interactividad e interdependencia positiva.

En la medida en que los procesos involucrados en la comprensión, resolución del problema y presentación de resultados a través del desarrollo del PI-NA se fueron haciendo más conscientes y explícitos, los estudiantes considerados para el estudio de casos fueron adquiriendo mayor autonomía en su aprendizaje y tuvieron más facilidad para realizar abordos interdisciplinarios. Esto se evidencia en la siguiente figura.



**Figura 3.** Antes, durante y después del desarrollo del PI-NA por parte de los tres estudiantes considerados para el estudio de casos.

Al respecto, Pérez (1992, 43), hace notar que "... *el estudiante debería aprender integrando conceptos, reinterpretando y no solo adquiriendo la cultura elaborada en las disciplinas académicas, mediante procesos de reflexión, intercambio y negociación...*", lo cual se enmarca en proyectos integradores mediante trabajos grupales y surge como argumento explicativo acerca de cómo es posible llegar a transformar esquemas de pensamiento y de actuación.

El estudio de casos con los tres estudiantes, corroboró las afirmaciones de González-Pienda y otros (1999), Miller y otros (1993) y Zimmerman y otros (1992) sobre que la implicación activa del sujeto en el proceso de aprendizaje aumenta cuando se valora sus tareas, se confía en sus capacidades y se diseñan actividades que crean expectativas de autoeficacia y de las cuales se responsabiliza el estudiante.

Se evidencian que, a pesar del entorno social adverso en el cual el pensamiento sistémico e integrador no es un proceso

habitual, los estudiantes desarrollan mejor su comprensión conceptual, se preparan mejor para incorporarse a un entorno laboral y aprenden más acerca de la naturaleza de la ingeniería, cuando integran conceptos y metodologías aprendidas a sus nuevos aprendizajes y establecen relaciones de construcción con otras disciplinas (Paz, 2011); sin embargo, sostienen los autores de este artículo, que es fundamental que el profesor sea capaz de modificar sus prácticas educativas de manera tal que introduzca los proyectos integradores en el aula y que él mismo monitoreo sus propios procesos.

Cuando trabajaron colaborativamente, los estudiantes recibieron retroalimentación de sus compañeros con el intercambio de ideas y estrategias para resolver el problema. Al tratar de establecer una generalización, nuevamente se requirió de la aportación de todo el equipo para lograrlo, informando e instruyendo al estudiante sobre qué se debe considerar para generalizar el modelo planteado. La exposición de los resultados fueron presentados por los tres estudiantes, quienes utilizaron sus propias representaciones y categorías verbales. Todo ello fomentó procesos de aprendizaje autónomo con responsabilidad en el estudiante. Sin embargo, también se convirtió en una barrera del aprendizaje para otros, por la falta de seguridad, pensamiento reflexivo y el miedo al error.

De acuerdo con los resultados de esta experiencia, la motivación continua del proceso PI-NA, la facilitación de recursos y medios, así como los refuerzos benefician el aprendizaje autónomo con responsabilidad y estimulan los abordajes interdisciplinarios. La idea fundamental que subyace a estos hallazgos es que la dimensión afectiva interacciona significativamente con la dimensión motivacional en la determinación del esfuerzo que el estudiante esté dispuesto a emplear para la puesta en marcha del aprendizaje autónomo y trabajo interdisciplinario, con el objeto de tener éxito en la tarea.

A partir del estudio de las experiencias de la motivación, ejecución y dificultad del estudiante al desarrollar un PI-NA, es posible obtener información complementaria de su aprendizaje autónomo y trabajo interdisciplinario, ya que el conocer las sensaciones del resolvente antes, durante y después del desarrollo del PI-NA es posible configurar un proceso global de comprensión y resolución, en el que no se tiene en cuenta sólo la ejecución real del problema sino también la experiencia metacognitiva del resolvente.

Como trabajos futuros se podría evaluar la sostenibilidad en el tiempo de dichos desarrollos en los mismos estudiantes.

## CONCLUSIONES

La aplicación de un enfoque interdisciplinario en cualquier disciplina y a través de PI-NA permite formar desde múltiples perspectivas y puntos de vistas posibles; además de dar la posibilidad de detectar, analizar y resolver problemas del entorno, aplicar en la práctica los conocimientos adquiridos y aumentar la motivación de los estudiantes porque resuelven

problemas de la vida real. Para posibilitar abordajes interdisciplinarios en PI-NA se sugiere optar por un enfoque sistémico que favorezca la integralidad de los procesos comprensivos y resolutivos del problema.

La interdisciplinariedad es una vía con un enorme potencial para mejorar la calidad de la investigación y para contribuir a la resolución de problemas complejos que no pueden resolverse con la simple aplicación de los conocimientos y métodos de las disciplinas de forma aislada. Un ejemplo que ilustra esta realidad en ingeniería, lo constituye la planta de montaje de vehículos “Smart” en Alemania, los equipos toman a su cargo la totalidad del montaje de un vehículo. Cada automóvil pasa a ser el proyecto de un equipo de distintos especialistas, quienes coordinan sus especialidades, resuelven problemas y juntos generan la evolución del montaje del vehículo, hasta su terminación. Las tareas ya no están fragmentadas y descontextualizadas, dissociadas de los productos finales y aislados del trabajo de otros empleados. El enfoque es global, contextual y situado. Cada acción que propone un empleado no sólo se coordina a la de otros empleados, sino que aporta al producto final. Este tipo de organización del trabajo requiere responsabilidad y exige a los empleados desarrollar competencias nuevas y coordinar sus distintas especialidades, provenientes de áreas diferentes. En este sentido, la interdisciplinariedad también podría verse como una nueva forma para fomentar la transferencia científica desde la universidad a las empresas de una manera más efectiva.

El trabajo colaborativo y cooperativo entre iguales, también favorecen la movilización de esquemas de conocimiento y aproximaciones a asuntos generales, por cuanto provoca el enfrentamiento de puntos de vista y estimula la elaboración de nuevos enfoques metodológicos más idóneos para la resolución del problema. Por esta razón el PI-NA potencia formas de trabajo cooperado, de colaboración, intercambio que enriquece la actividad creadora. De esta manera puede asegurarse la funcionalidad del aprendizaje escolar, es decir, que las competencias y los conocimientos que se adquieran en el aula puedan ser utilizados en cualquier situación de la vida cotidiana que lo requiera.

Frente a la resolución de un problema planteado mediante un PI-NA es necesario tener en cuenta las individualidades de quien la enfrenta, pues a partir de ellas (conocimientos, experiencias, tipo de inteligencia, creatividad...) se determina en gran medida el abordaje y la reflexión que la situación suscita y por consiguiente, el curso de acción a seguir frente al obstáculo que enfrenta(n) el (los) estudiante(s) o grupo(s) que la aborda(n). En estrecha relación con las características individuales de quien enfrenta el problema se debería desarrollar la idea de “Umbral de Problematicidad”, diferente para cada persona, y sólo a partir de esto, poder afirmar que una situación constituye un verdadero problema para el(los) estudiante(s) en cuestión (Elshout, 1985).

Dado que los ingenieros utilizan frecuentemente los modelos matemáticos, como descripciones simplificadas de un sistema o proceso de ingeniería, para construir un modelo mental de la situación que se plantea en el problema; se podría

integrar esta estrategia al PI en cualquiera de las modalidades enunciadas al principio, para facilitar la solución del problema, una vez comprendidas sus particularidades.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Berggren, K.-F., Brodeu, D., Crawley, E. F., Ingemarsson, I., Litant, W. T., Malmqvist, J., & Östlund, S. (2003). CDIO: an international initiative for reforming engineering education. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 2(1), 49-52.
- [2] Crawley, E. F. (2001). *The CDIO Syllabus: a Statement of Goals for Undergraduate Engineering Education*. Tech. rep., Massachusetts Institute of Technology.
- [3] Duell, O. (1986). *Metacognitive skills*, G. D. Phye & T. Andre (Ed.): *Cognitive classroom learning: understanding, thinking and problem solving*. New York: Academic Press, pp. 98-108.
- [4] Crawley E. F. & J. Malmqvist, “Rethinking engineering education: the CDIO approach”. Beijing: Higher Education Press. 2009.
- [5] Elshout, J. (1985). *Problem solving and education, state of the art paper*. Earli conference Lewen. Junio de 1985.
- [6] Forman, E. & Cazden, C. (1995). *Exploring Vygotskian perspectives in education: the cognitive value of peer interaction* In: Wertsch, J.V. (Ed.). *Culture, communication and cognition: Vygotskian perspectives*. (323-347). Cambridge: Cambridge University Press.
- [7] Gómez, J. (2001). *El concepto de Competencia. Una mirada interdisciplinar*. Bogotá: SOCOLPE - Alejandría Libros, Tomo I.
- [8] González-Pienda, J., Núñez, J., Álvarez, L., González-Pumariega, S. y Roces, C (1999). *Comprensión de problemas aritméticos en alumnos con y sin éxito*. *Psicothema*, 11(3), 505-515.
- [9] Hiebert, J. y Lefevre, P. (1986), *Conceptual and Procedural Knowledge in Mathematics: an Introductory Analysis, Conceptual and Procedural Knowledge: The Case Of Mathematics*, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, N.J. 1-23.
- [10] Knowles, M. (1975). *Self-directed learning*. Chicago, Estados Unidos: Association Press.
- [11] Miller, R., Behrens, J. & Greene, B. (1993). *Goals and perceived ability: impact on student valuing, self-regulation and persistence*, *Contemporary Educational Psychology*, 18, 2-14.
- [12] Motschnig, R. & Figl, K. (2007). *Developing team competence as part of a person centered learning course on communication and soft skills in project management*, *Frontiers in education: FIE, F2G-15-F2G-21*.
- [13] Paz, H. (2007). “El aprendizaje situado como una alternativa en la formación de competencias en ingeniería”. *Revista educación en ingeniería*, Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería: ACOFI. 2(4), 2007.
- [14] Paz, H. (2012). “Análisis comparado de las tendencias didácticas basadas en resolución de problemas en ingeniería”. *Revista Argos*. 29(57) julio del 2012, volumen 29, pp. 126-149.
- [15] Paz, H. (2011). *How to develop metacognition through problem solving in higher education?* *Revista de Ingeniería e Investigación*, 31(1), Abril del 2011, pp. 75-80.
- [16] Pérez, G. (1992). *La interacción Teoría - Práctica en la Formación del Docente*. En: *Las Didácticas Específicas en la Formación del Profesorado*. Actas del Congreso. Santiago de Compostela, España, pp. 5-51.
- [17] Piaget, J. (1973). *Psicología y pedagogía*. Barcelona: Editorial Ariel.
- [18] Rogoff, B. (1993). *Aprendices del pensamiento. El desarrollo cognitivo en el contexto social*. Barcelona: Paidós.
- [19] Shulman, L. and Keislar E. (2000). “Aprendizaje por descubrimiento”, México, Trillas, 2000.
- [20] Stake, R. (1999). *Investigación con estudio de casos (2a ed.)*. Madrid: Ediciones Morata.
- [21] Tovar, J. (2005). *Evaluación metacognitiva y el aprendizaje autónomo, Tecné Episteme y Didaxis TEΔ*, nº especial de mayo, Segundo congreso sobre formación de profesores de ciencias, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C.
- [22] Zimmerman, B., Bandura, A. y Martínez-Pons, M. (1992). *Self-motivation for academic attainment: the role of self-efficacy beliefs and personal goal setting*, *American Educational Research Journal*, 29, 663-76.