



# Proyectos integradores en Ingeniería Electrónica con metodología CDIO

**Hernán Paz Penagos**

*Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”, Bogotá, Colombia (hernan.paz @ escuelaing.edu.co)*

**Marco Andrés Ortiz Niño**

*Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”, Bogotá, Colombia (marco.ortiz@escuelaing.edu.co)*

**Johnny Alexander Arévalo López**

*Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”, Bogotá, Colombia (johnny.alexander@escuelaing.edu.co)*

**Karol Milena Chitiva Medellín**

*Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”, Bogotá, Colombia (karol.chitiva@mail.escuelaing.edu.co)*

Recibido: 19 de noviembre de 2014 | Aceptado: 15 de octubre de 2015 | Publicado en línea: 30 de diciembre de 2015

DOI: <http://dx.doi.org/10.18175/VyS6.2.2015.04>

## 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 (concepción, diseño, implementación y operación), 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 2006, 2010 y 2014. De esta pesquisa se evidenció la enseñanza de conceptos fundamentales, algunas veces desarticulados por semestre; área de conocimiento, unidad y tema, que crea obstáculos de orden epistemológico en el estudiante a la hora de resolver un problema. 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-NM, para séptimo semestre, y tercer proyecto integrador con nivel avanzado: PI-NA, para décimo 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 “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-NM, 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, incluido 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 buscan 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 que el profesor sirva como guía, orientador y facilitador del proceso; así mismo, que evidencie la integración de conceptos fundamentales de su propio saber con otros saberes implicados en la 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-NM o PI-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 y Keislar, 2000) y aprendizaje significativo.

La intervención didáctica, que permitió evidenciar algunos avances en aprendizaje autónomo con responsabilidad y acercamientos interdisciplinares en tres estudiantes de déci-

mo semestre del programa, se hizo con el *Desarrollo de una solución tecnológica inalámbrica con cobertura universal para la localización y seguimiento de activos móviles que sea compatible con los sistemas GPRS ya existentes*; y fue una estrategia de formación alternativa para dar respuesta a la pregunta inicial sobre el problema: *¿Qué aportes hace un proyecto integrador de nivel avanzado al desarrollo de aprendizaje autónomo con responsabilidad y de mejoramiento en acercamientos interdisciplinarios de los estudiantes en los casos considerados?*

## 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), centrada 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, mediados por búsquedas planificadas y sistemáticas que propenden a la aplicación del conocimiento integrado, un aprendizaje autónomo y permanente con responsabilidad y aproximaciones interdisciplinarias 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 la aproximación interdisciplinar, 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 fomentan 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:

- a. Secuencia y continuidad. La solución obtenida por los estudiantes puede usarse como un nuevo bloque de conocimiento.
- b. Integración de conceptos. Los estudiantes desarrollan las trayectorias de aprendizaje para interconectar los bloques de conocimiento y así obtener una solución al problema dado.
- c. 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 centran 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, le da la posibilidad de identificar otras alternativas de epistemologías en torno al problema que enfrenta y del cual aprende. 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 privilegia el pensamiento científico y el desarrollo de habilidades de negociación, de toma de decisiones y de justificación de lo que el estudiante piensa, que correspondan a las necesidades de la sociedad del conocimiento (Motschnig y Figl, 2007). En esta perspectiva, 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.

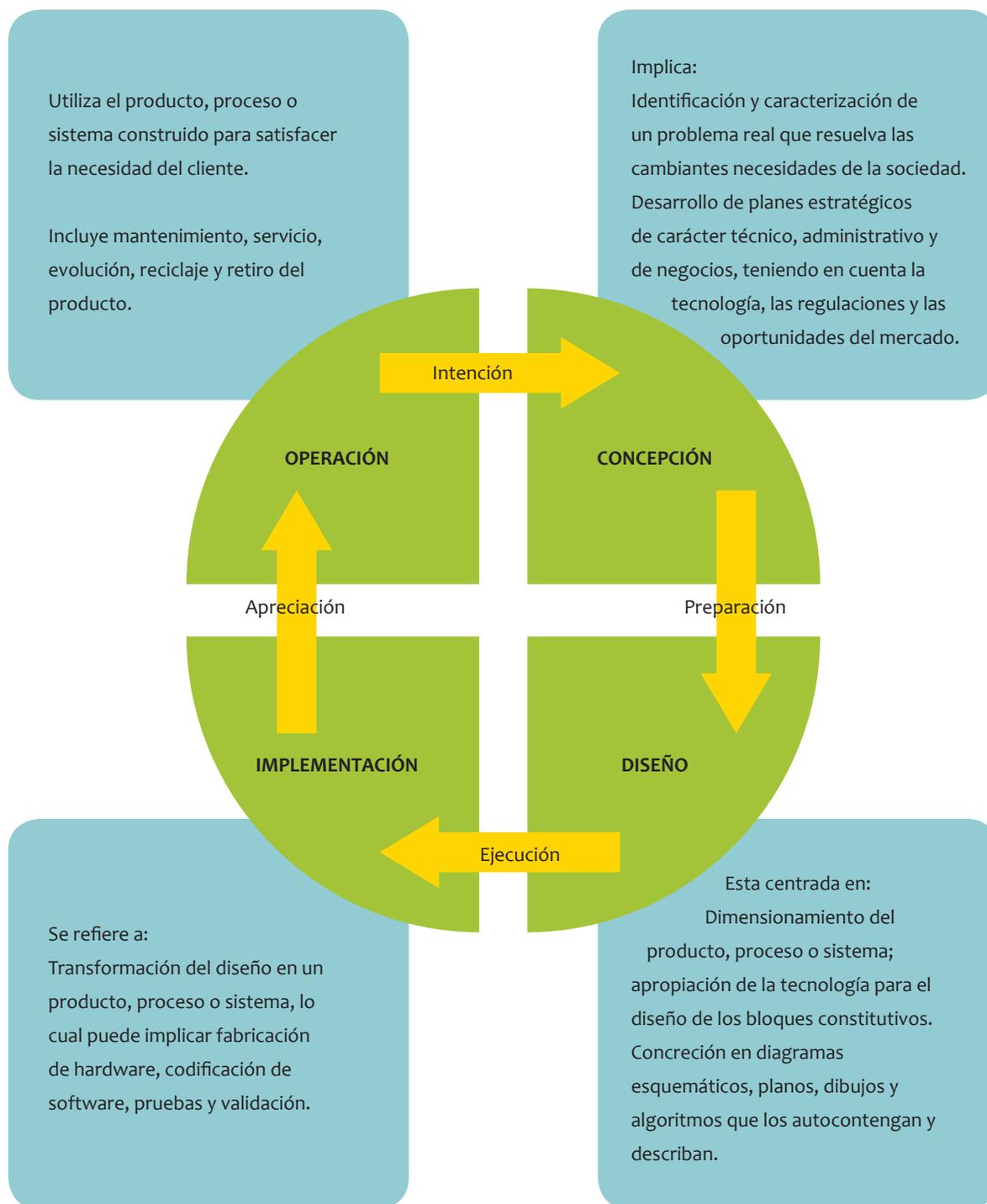
Con el desarrollo de PI en ingeniería también se busca la formación de competencias personales, empresariales y gerenciales que, además de sus conocimientos fundamentales y de aplicación, puedan insertarse correcta y oportunamente en las unidades productivas en las que les corresponderá participar a 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, 2001; Crawley & Malmqvist, 2009), cuyo propósito es dominar en 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 figura 1.

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 ella para orientar los procesos de formación del estudiante.

Un estudiante autónomo se caracteriza por su conducta de autorregulación y autoestima, autoconcepto y autocompetencia 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 por alcanzar, pero se pueden 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. Ésta 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 ligada 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* está después de la multidisciplinariedad y antes de la transdisciplinariedad; 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: la primera perspectiva hace referencia a los temas que a través de ejes transversales buscan reforzar visiones amplias y totalizadoras del objeto de estudio; la segunda hace alusión a las estrategias metodológicas, o parte de éstas, que, organizadas y complementadas adecuadamente, movilizan nuevos recursos y esquemas de trabajo colaborativo que contribuyen a la resolución del problema (Gómez, 2001). El enfoque interdisciplinar para esta investigación se realizó desde la primera perspectiva.

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); de modo implícito, se distancian de finalidades más complejas como la autonomía intelectual, la actitud democrática y colaborativa, que pueden desarrollarse aún más, integrando perspectivas tanto teóricas como metodológicas.

## METODOLOGÍA

La propuesta metodológica 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 *¿Qué aportes hace un proyecto integrador de nivel avanzado al desarrollo de aprendizaje autónomo con responsabilidad y de mejoramiento en acercamientos interdisciplinarios de los estudiantes en los casos considerados?*

Las hipótesis de trabajo fueron: *Hipótesis No 1:* Podría ser que los acercamientos interdisciplinarios propiciados a través del PI-NA movilicen en los estudiantes —considerados en los estudios de caso— 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 al aprendizaje autónomo con responsabilidad de los tres estudiantes considerados en los estudios de caso.

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 acercamientos 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 coinvestigador 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-obstructora, 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 en la tabla 1.

Tabla 1. Códigos, categorías, subcategorías e indicadores para identificar trabajo interdisciplinar y aprendizaje autónomo con responsabilidad tanto en las actuaciones como en las verbalizaciones de los estudiantes considerados para el estudio de casos

Categorías	Subcategorías de observación	Indicadores	Intencionalidad
1. Trabajo interdisciplinar	<p>1.1. Aproximación interdisciplinar para la comprensión del problema: El estudiante o grupo de estudiantes: ¿hace aproximaciones interdisciplinares para la comprensión del problema?</p>	<p>A-¿Visualizan y representan el carácter sistémico y complejo de la realidad involucrados en el problema?: Sí ___ NO ___ B- En la comprensión del problema ¿hacen aproximaciones a asuntos más amplios?: Sí ___ NO ___ C-¿Distinguen los conocimientos involucrados en el problema por temas y los integran?: Sí ___ NO ___ D-¿Exploran y ubican información necesaria de otras áreas del conocimiento para comprender mejor el problema?: Sí ___ NO ___</p>	<p>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.</p>
	<p>1.2. Aproximación interdisciplinar para la resolución del problema: El estudiante o grupo de estudiantes: ¿hace aproximaciones interdisciplinares para resolver el problema?</p>	<p>A-¿Disciernen la pertinencia de tener en cuenta información disponible en otros campos del saber para resolver el problema?: Sí ___ NO ___ B-¿Aplican conocimientos adquiridos en otros cursos para la resolución del problema?: Sí ___ NO ___ C-¿Integran conocimientos diversos en la resolución propuesta?: Sí ___ NO ___</p>	

Categorías	Subcategorías de observación	Indicadores	Intencionalidad
<p>2. Aprendizaje autónomo con responsabilidad</p>	<p>2.1. Indicios de autonomía en el afrontamiento de la resolución y presentación de resultados. 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? : Sí __ NO __ B- ¿Justifican las decisiones tomadas? : Sí __ NO __ C- ¿Seleccionan los recursos requeridos para la RP? : Sí __ NO __ D- Reflexionan y disciernen sobre los planes de acción a seguir en la resolución del problema?: Sí __ NO __ E- ¿Realizan trabajo independiente, por ejemplo experimentos? : Sí __ NO __ F- ¿Disciernen por sí mismos las vías de solución? : Sí __ NO __ G- ¿Analizan y evalúan la consistencia de lo que dicen y hacen para presentar los resultados del trabajo? : Sí __ NO __ H- ¿Analizan y evalúan la consistencia de las propias ideas? : Sí __ NO __ I.¿Cuestionan con argumentos otras posiciones? : Sí __ NO __</p>	<p>La subcategoría 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, por cuanto se da como una red de significaciones, que no sólo influye 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 la 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.

## APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA

**Condiciones iniciales:** sobre las experiencias previas 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 a que traten de comprenderlos y replicarlos, una vez son leídos en las guías o expuestos por el profesor.

**Lugar, población muestral y tiempo de la intervención:** el estudio se llevó a cabo en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, ubicada en Bogotá D.C. 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. El tiempo que se dispuso para el estudio de casos fue de seis meses (1 de marzo al 31 de julio de 2014), y la presencialidad del mismo correspondió a la asignada por prestación de servicios como monitores de investigación del proyecto —mencionado arriba— por quince horas semanales, de las cuales cinco correspondían a trabajo independiente del estudiante, generalmente dedicado a la documentación o redacción de informes, y diez horas de trabajo en el laboratorio.

**Fases de la intervención:** como parte de la metodología de trabajo para 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 PI para tres estudiantes de último semestre de Ingeniería Electrónica, 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; éstas 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 evaluó el trabajo realizado en relación con objetivos previstos.

**Actividades:** se observaron y analizaron los procesos de resolución desde el punto de vista de aprendizaje autónomo y aproximaciones interdisciplinarias 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 a aprendizajes del estudiante con las características de situado, 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 la dinamización de todos los enfoques posibles y de dar la posibilidad al estudiante de negociar los contenidos que debe aprender, utilizar adecuadamente los recursos y 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 involucró 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.

### Reconocimiento de los sujetos

Las características individuales de los estudiantes considerados para los estudios de caso son: Lilia y Carolina, cuyos nombres están cambiados, son dos estudiantes de 21 años que estudian décimo semestre. Lilia es una joven que se destaca por tener uno de los mejores promedios de su semestre. Su motivación para el aprendizaje está determinada por el valor del incentivo a la meta, el deseo de alcanzar el éxito, la búsqueda constante del dominio, afán por sobresalir, obtener la aprobación del grupo y lograr mayor competencia. Sus opiniones inspiran un cierto respeto entre sus compañeros. Realiza sus actividades académicas frecuentemente con dos compañeros que tienen un rendimiento académico similar a ella, y todos ellos se ubican en los primeros asientos. Se ha llegado a establecer entre ellos una especie de competencia que origina interesantes diálogos y tomas de posición cuando trabajan en grupo y son evaluados.

Carolina, por su parte, es una estudiante que siempre ha superado las exigencias de las asignaturas trabajadas en el plan de estudios. No se puede afirmar que sea la más brillante en el curso, simplemente aprueba sin esforzarse demasiado y, normalmente, se conforma con el aprobado. Las intervenciones de Carolina en clase se producen a petición del profesor, y en contadas ocasiones, por iniciativa propia. Prefiere planificar, seguir reglas y centrarse en los aspectos

concretos de la realidad. Las dudas que tiene respecto de la materia, las consulta siempre con el profesor fuera de la clase o el laboratorio.

Jorge acaba de cumplir 22 años, y, al igual que Carolina, se suele sentar en la parte de atrás del salón de clase y del laboratorio. Es un estudiante muy inteligente, rápido en comprender explicaciones del profesor y bastante reflexivo. Piensa en forma crítica, quizás un tanto negativa, pregunta ¿por qué? o ¿por qué no?; prefiere la novedad e ir más allá de las reglas establecidas. Siempre es de los primeros en acabar las actividades que se le proponen, lo que lo convierte en un estudiante al que sus compañeros más próximos consultan con frecuencia; a pesar de ello, no tiene mucho protagonismo público en la clase. Cuando responde a las preguntas del profesor, lo suele hacer de forma precisa y generalmente acertada. Tiene la tendencia a enfocar algebraicamente los problemas y actividades de clase.

## RESULTADOS

Desde la perspectiva de los procesos de aprendizaje seguidos por los estudiantes para la resolución de problemas y el trabajo en proyectos grupales, previos a la intervención didáctica, se identifica un marcado impulso a la ejecución inmediata y a utilizar sólo los datos numéricos del problema para hallar las ecuaciones que utilizarán en la resolución.

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, se transcriben algunas interacciones: verbalizaciones y actuaciones evidenciadas por dichos estudiantes en el desarrollo de las tres fases de PI-NA:

Tabla 2. Algunas verbalizaciones y actualizaciones de los tres estudiantes considerados para el estudio de casos en el desarrollo del PI-NA

Fuentes de información		Carolina	Lilia	Jorge
Verbalizaciones identificadas en las tres fases de desarrollo del PI-NA	Relacionadas con el trabajo interdisciplinar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• = me gusta examinar “el todo” en vez de los detalles: prefiero un enfoque integrador &lt;pausa (9)&gt; estoy convencida que pensando en forma amplia y positiva, sin limitaciones por ideas preconcebidas, voy a lograr mejores resultados en la interpretación de los temas =</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• = de pronto me hubiese llegado más / entendido mejor /, si el problema fuera más práctico / El problema nos implicó mucho esfuerzo para entenderlo porque es muy teórico en sus formulación y le faltaron datos para poder partir de ellos para su resolución =</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• = =sería aconsejable comenzar por un estudio cuantitativo del problema para acotarlo y definirlo de manera más precisa &lt;pausa (9)&gt; aunque no tenemos datos numéricos / la situación a resolver involucra temas / ¿Por qué no identificamos y revisamos esos temas para tener una mayor comprensión del problema? ==</li> </ul>

Fuentes de información		Carolina	Lilia	Jorge
Verbalizaciones identificadas en las tres fases de desarrollo del PI-NA	Relacionadas con el trabajo interdisciplinar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• == ¿Quién dice que esto es un problema? / me parece que es muy general, nada que ver con los ejercicios a los que estamos acostumbrados &lt;pausa (12)&gt; me imagino que así serán los problemas que nos tocará resolver como ingenieros ==</li> <li>• == Creo que construir un sistema de comunicaciones, como el que vimos la necesidad de hacer, es muy difícil / porque estábamos acostumbrados a montar máximo hasta el transmisor y casi siempre con el generador como señal de información ==</li> <li>• == Claro que sí hay que relacionar el tema con lo visto en otras materias &lt;pausa (11)&gt; Aquí es donde realmente sabe para qué servía en cálculo y todo eso que uno aprendió en todas esas matemáticas que vio==</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• == Existen problemas parecidos / yo pude solucionar un ejercicio, creo que fue de Física, en segundo semestre a partir de otro de taller de Electrónica y me resultó &lt;pausa (12)&gt; si hubiese algo parecido a éste, sería más fácil llegar a la respuesta ==</li> <li>• =Generalmente integro el tema a otros ya vistos / el profesor en sus ejemplos de clase lo intenta hacer, pero casi siempre termina por aislarlo &lt;pausa (12)&gt; De lo que yo me acuerdo / fueron pocos los profesores que me relacionaron los contenidos que me dictaron con lo que se ve en otras carreras &lt;pausa (10)&gt; Me imagino que no lo hacen porque no las conocen=</li> <li>• ==Ojala pueda aprender de otras áreas del conocimiento / para tener una cultura más amplia y facilidades para entender lo que dicen otros profesionales cuando le toque trabajar con ellos ==</li> <li>• =La modulación se encuentra como principio operativo en otras áreas de ingeniería, ejemplo, mezcla de señales, circuitos de control realimentados, etc. &lt;pausa (9)&gt; Somos varias cabezas pensando sobre el mismo tema / podríamos estudiar cada uno por nuestra propia cuenta y sugerir una alternativa de solución al problema y será menos difícil acercarse a la respuesta correcta =</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• =Cuando estudiaba alternativas de resolución al problema recordé unos trucos que utilicé para resolver algunos ejercicios de campos electromagnéticos / consistió en recordar las ecuaciones por su similitud con la ley de Ohm / intenté hacer lo mismo y creo que también se puede=</li> <li>• =Hay que programar el micro / como todos lo sabemos hacer, sería conveniente que mientras uno de nosotros lo hace, los demás empiecen a trabajar sobre la comprensión de la información &lt;pausa (9)&gt; es importante consultar qué tipo de información es transmitida por este sistema de comunicaciones / comparar, discriminar, relacionar, clasificar los tipos de información, los anchos de banda y las probabilidades de error==</li> </ul>
	Relacionadas con el aprendizaje autónomo con responsabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ==He sido callada desde muy pequeña / Algunos piensan que soy tímida pero eso aún no lo sé &lt;pausa (11)&gt; suelo hacerme en grupos en los cuales no me toque exponer ==</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ==Frente a situaciones de aprendizaje no previsibles suelo consultar siempre al profesor el procedimiento a seguir &lt;pausa (10)&gt; y si la situación es previsible le pregunto a mis compañeros / no siempre lo puedo hacer con el profesor ==</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ==Yo sé cómo estudiar para lograr buenos resultados en el examen o tener éxito en la práctica de laboratorio / eso lo hace la práctica de lo mismo desde mi colegio y los primeros semestres de la carrera / también aplico trucos para aprenderme los temas o memorizar las fórmulas / hasta ahora me ha ido bien==</li> </ul>

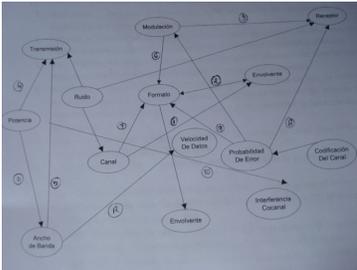
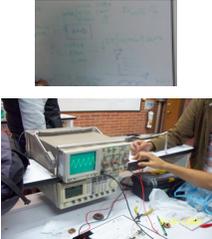
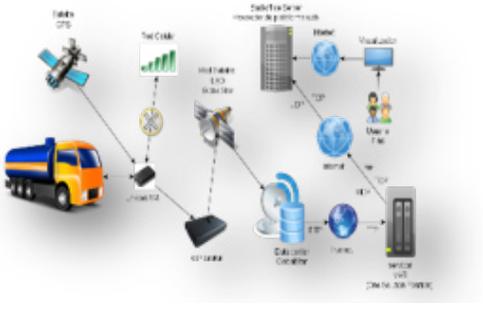
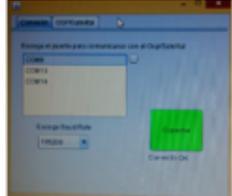
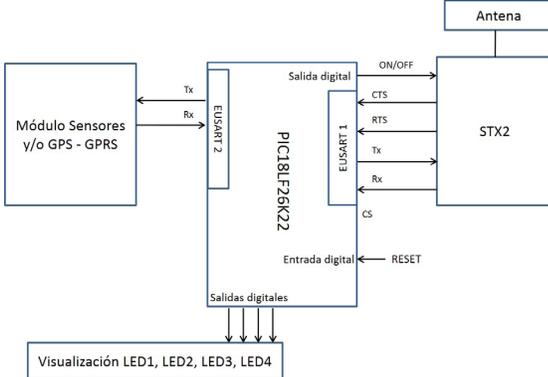
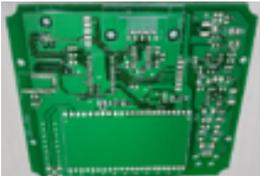
Fuentes de información		Carolina	Lilia	Jorge
Verbalizaciones identificadas en las tres fases de desarrollo del PI-NA	Relacionadas con el aprendizaje autónomo con responsabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• == Gracias a la representación del problema fue fácil para mí identificar los temas y formular los objetivos que convenía aprender para resolverlo satisfactoriamente==</li> <li>• == He aprendido de la asignatura en gran parte por mi trabajo independiente ==</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• == ¿Por qué no comparamos los resultados de la simulación de la transmisión con los datos sobre probabilidad de error esperada y aquella que también obtuvimos de la práctica del laboratorio / con todos ellos hacemos una matriz DOFA y vemos correctivos o ajustes al dispositivo?==.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• == Por qué no extrapolamos a partir de los conocidos, aquellos que aún nos faltan &lt;pausa (11)&gt; importa más organizar los datos y tomar las decisiones con esos resultados==.</li> </ul>
Actuaciones identificadas en las tres fases de desarrollo del PI-NA	Relacionadas con el trabajo interdisciplinar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [Identifica y utiliza apropiadamente fuentes de información. Busca y consulta textos de diversa índole de acuerdo al tema. Es poco comunicativa en el desarrollo de la actividad. Usa nomenclatura técnica para referirse a las características del problema]</li> <li>• [Esboza con rapidez un diagrama relacional primario que alimenta gradualmente con nuevos términos y relaciones; esto lo hace sin mayores dificultades. Elabora el material requerido]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [Solicita referencias adicionales a las suministradas por el profesor y las escribe en un folio de su bitácora. Llevó también al laboratorio apuntes de señales y probabilidades, vistas en semestres anteriores. Controvierte sobre algunas características del problema señaladas por un compañero de grupo]</li> <li>• [Solicita ayuda para encontrar la forma de abstraer y representar gráficamente el problema. Indaga sobre información útil para elaborar el material. El bosquejo elaborado es incompleto inicialmente, pero va siendo ampliado y/o modificado a medida que interactúa con sus compañeros; con lo cual la nueva información, argumentada de manera significativa para ella, ingresa a su estructura cognitiva para permitir una mejor representación del fenómeno]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [Busca sólo libros de comunicaciones radiodigitales. No suele encartarse —según él— con tanta información. Hace clasificaciones de tipo jerárquico, identificar entradas y salidas del problema]</li> <li>• [Organiza y planifica el tiempo. Interpreta los resultados de la búsqueda de información y la presenta al grupo de trabajo para la toma de decisiones]</li> </ul>
	Relacionadas con el aprendizaje autónomo con responsabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [Es propositiva con respecto a lo que debe hacer el grupo para resolver el problema; frecuentemente refuta la incoherencia en los procedimientos y falta de claridad en las conclusiones que brotan de la discusión de su grupo]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [Los indicios de su autonomía se refieren a su persistencia para exigir exhaustividad en el desarrollo de las prácticas de laboratorio, con el fin de completar con datos precisos para poder resolver el problema; mientras que en la presentación de los resultados se manifiesta a través de la claridad, coherencia y consistencia en lo que expone, porque lo discierne]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [Realiza los experimentos de laboratorio de manera individual y anticipada al grupo; aunque no fue riguroso en las mismas, recupera algunos de sus resultados para contrastarlos con los obtenidos para las mismas prácticas por el grupo de trabajo; dialoga con ellos, aunque, a veces, estos diálogos acaban en desacuerdos evidentes, que logra diferir siempre a su favor]</li> </ul>

Fuentes de información		Carolina	Lilia	Jorge
Actuaciones identificadas en las tres fases de desarrollo del PI-NA	Relacionadas con el aprendizaje autónomo con responsabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>[Ayudó a uno de sus compañeros del grupo a preparar la sustentación en plenaria, y sus aportes se enfocaron a organizar los resultados en una tabla en la cual se consideraron fundamentales los criterios con los cuales se validó y valoró dicha información para llegar a la resolución propuesta]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>[En su trabajo individual demostró compromiso y responsabilidad en las tareas y en el trabajo grupal asumió independencia; en las plenarios se expresa correctamente utilizando el lenguaje de la ingeniería]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>[Se involucró en el desarrollo de las prácticas y fue el de mayor compromiso con su grupo durante toda la intervención; esa implicación activa le mereció atención y respeto de sus compañeros, cuando intervenía]</li> </ul>
Comentarios		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carolina considera fundamental integrar conocimientos y enfoques al resolver un problema.</li> <li>• ==Lilia tiene algunas dificultades comunicativas con el grupo de trabajo y me da la impresión que a veces no le interesa aprender sobre otros asuntos diferentes a su carrera / pero, al tratarse de un asunto técnico es muy recursiva y carga con toda la responsabilidad==</li> <li>• Jorge demuestra versatilidad en sus conversaciones y mucha capacidad de trabajo interdisciplinar, fue el que mejor compaginó con el ingeniero industrial que se vinculó al proyecto a través de una consultoría.</li> <li>• En Jorge se identifica 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.</li> <li>• Lilia examina las condiciones que se dan en el problema para luego discernir las vías de solución; en este proceso recurre, algunas veces, a la aplicación de conceptos y heurísticas aprendidos en asignaturas del área de comunicaciones, vistas en semestres anteriores.</li> <li>• Carolina, antes de abordar la fase comprensiva o resolutoria del problema, se interesa en identificar los conocimientos implicados en el asunto; para lo cual pregunta al profesor sobre prerrequisitos del tema, lista conceptos claves en comunicaciones vía radio digital, busca una explicación de los mismos y los relaciona con el problema.</li> <li>• Las intervenciones de Jorge se refieren principalmente a la falta de experiencia en este tipo de aproximaciones y de un lenguaje común para entablar interrelaciones, diálogos y cooperación interdisciplinaria; mientras que Carolina arguye que este tipo de trabajo le implicaba una nueva forma de organización de su actividad y moverse a otros campos científicos que no dominaba.</li> <li>• Lilia considera importante que el problema planteado represente una situación ejemplar, es decir que esté referido a la realidad, lo cual permite establecer con mayor facilidad vínculos de participación conjunta con otras disciplinas.</li> <li>• Se observaron en Lilia, Jorge y Carolina procesos de independencia de pensamiento para intentar resolver el problema por sí mismos y, después, de manera colegiada, negociación de los pros y contras de las respuestas dadas por los mismos a sus compañeros del grupo de trabajo, y viceversa, para llegar a un acuerdo.</li> <li>• Llama la atención la nutrida participación de Jorge en la fase de resolución del problema y su capacidad para diferir el juicio cuando se presentaba una discusión grupal; era el estudiante conciliador, que refrenaba la autocensura y la crítica de las ideas de los demás; actitud que no tenía Carolina. Sin embargo, la participación de esta última y también la de Lilia aumentaron cuando se valoraron sus intervenciones en las evaluaciones de cada sección y se confió en sus capacidades.</li> </ul>		

El material de análisis fue el resultado de la transcripción de las interacciones. Dicho material se dividió, clasificó en partes y seleccionó según el tipo de interacción; en episodios, para el caso de las actuaciones y unidades de análisis para las verbalizaciones. A los episodios se aplicó la técnica del análisis en profundidad (Microanálisis), y a las verbalizaciones, el análisis de contenido.

Así mismo, en la figura 2 se muestran algunas evidencias metodológicas y de logros técnicos alcanzados en el desarrollo de las tres fases del proyecto.

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

Representación del problema: Concepción	Resolución: Diseño e Implementación	Presentación de resultados: Operación																												
<p>Coordenadas teóricas: Señales, comunicaciones pasabanda: celulares - GSM, satelitales - LEO, teoría de información y canal de radio.</p>	<p>Aproximación de los marcos teóricos y metodológicos técnicos a los marcos legal (funcionamiento), medio ambiental (funcionamiento) del dispositivo.</p>	<p>Elaboración de resúmenes y cuadros sinópticos Organización de presentación, plenaria, exposición resultados.</p>																												
<p>Integración de topics</p> 	<p>Abordes interdisciplinarios y trabajo autónomo</p> 	<p>Retroalimentación y ajustes:</p> 																												
<p>Concepción (Representación):</p> 	<p>Especificaciones técnicas:</p> <table border="1" data-bbox="748 1215 1084 1555"> <thead> <tr> <th colspan="2">Especificaciones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tamaño</td> <td>Antena satelital: 8.4cm X 7.5cm X 4cm Dispositivo: 10.5cm X 9.5cm X 4cm</td> </tr> <tr> <td>Peso</td> <td>Antena satelital: ~180 g (con el cable de 5 m)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Tolerancia Ambiental</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de carga</td> <td>-5°C a +55°C</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de operación</td> <td>Transmisor satelital: -5°C a +55°C Antena satelital: -5°C a +55°C Bluetooth: -40°C a +85°C Transmisor satelital: 85 %</td> </tr> <tr> <td>Humedad relativa</td> <td>Antena: 85 % Bluetooth: 90 % IP 65, NEMA 12</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Tolerancia Eléctrica</td> </tr> <tr> <td>Voltaje de entrada</td> <td>10 VDC a 30 DC</td> </tr> <tr> <td>Consumo de corriente</td> <td>En transmisión satelital: min 650 mA Módem: 1.4 A En inactividad: 15 mA Supresor de picos de voltaje Polaridad inversa de voltaje</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Protección</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Sobrecorrientes Térmico de altas (55°C) y bajas (-5°C) temperaturas Dispositivo: D89 hembra para conexión con GPS exact</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Conector de acoplamiento</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Antena Satelital</td> </tr> </tbody> </table>	Especificaciones		Tamaño	Antena satelital: 8.4cm X 7.5cm X 4cm Dispositivo: 10.5cm X 9.5cm X 4cm	Peso	Antena satelital: ~180 g (con el cable de 5 m)	Tolerancia Ambiental		Temperatura de carga	-5°C a +55°C	Temperatura de operación	Transmisor satelital: -5°C a +55°C Antena satelital: -5°C a +55°C Bluetooth: -40°C a +85°C Transmisor satelital: 85 %	Humedad relativa	Antena: 85 % Bluetooth: 90 % IP 65, NEMA 12	Tolerancia Eléctrica		Voltaje de entrada	10 VDC a 30 DC	Consumo de corriente	En transmisión satelital: min 650 mA Módem: 1.4 A En inactividad: 15 mA Supresor de picos de voltaje Polaridad inversa de voltaje	Protección			Sobrecorrientes Térmico de altas (55°C) y bajas (-5°C) temperaturas Dispositivo: D89 hembra para conexión con GPS exact	Conector de acoplamiento			Antena Satelital	<p>Operación:</p>  
Especificaciones																														
Tamaño	Antena satelital: 8.4cm X 7.5cm X 4cm Dispositivo: 10.5cm X 9.5cm X 4cm																													
Peso	Antena satelital: ~180 g (con el cable de 5 m)																													
Tolerancia Ambiental																														
Temperatura de carga	-5°C a +55°C																													
Temperatura de operación	Transmisor satelital: -5°C a +55°C Antena satelital: -5°C a +55°C Bluetooth: -40°C a +85°C Transmisor satelital: 85 %																													
Humedad relativa	Antena: 85 % Bluetooth: 90 % IP 65, NEMA 12																													
Tolerancia Eléctrica																														
Voltaje de entrada	10 VDC a 30 DC																													
Consumo de corriente	En transmisión satelital: min 650 mA Módem: 1.4 A En inactividad: 15 mA Supresor de picos de voltaje Polaridad inversa de voltaje																													
Protección																														
	Sobrecorrientes Térmico de altas (55°C) y bajas (-5°C) temperaturas Dispositivo: D89 hembra para conexión con GPS exact																													
Conector de acoplamiento																														
	Antena Satelital																													
<p>Dimensionamiento:</p> 	<p>Construcción</p>  	<p>Puesta en servicio:</p> 																												

Los tres estudiantes reconocieron la existencia de un problema, y a partir de esto llevaron a cabo su representación para comprenderlo y finalmente resolverlo. Como lo muestra la columna 1 de la figura 2, el problema se representó mediante redes de relaciones, en las 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 realizaron 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 adelante*, 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 éstas: ¿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 adelante, 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 a 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, acercamientos interdisciplinarios y puesta en marcha de estrategias, tales como análisis, experimentación y simplificación.

Se indagó cómo los estudiantes considerados para el estudio de casos hacen aproximaciones interdisciplinarias 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 obtuvieron 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 les impide hacer un análisis cualitativo

y holístico del problema planteado. Sólo piensan en operaciones. No exploran otros enfoques, como el sistémico, implicados en la resolución de problemas y que son necesarios en ingeniería para hacer acercamientos 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 aproximaciones interdisciplinarias fue 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.

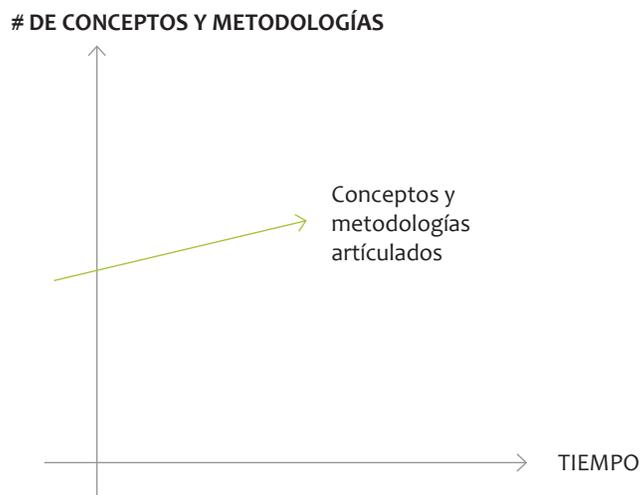
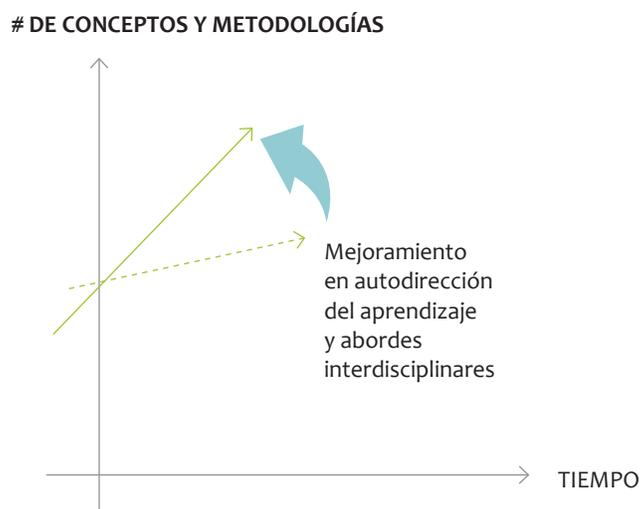
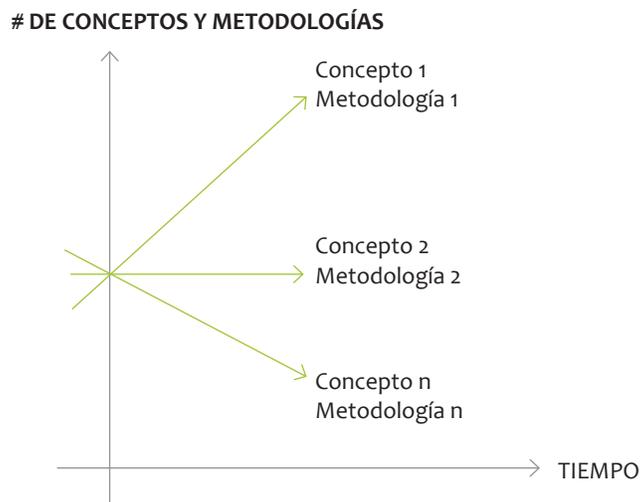
La autonomía de los estudiantes considerados para el estudio de casos se puso de manifiesto en la independencia académica del pensamiento y madurez para presentar resultados parciales del trabajo, elaborar informes, implementar y realizar prácticas de laboratorio de prueba parciales, recoger y analizar 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 en los resultados por alcanzar. En este sentido, los estudiantes considerados para el estudio de casos negociaron con el profesor temas, objetivos, actividades, así como tiempos y 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 autocompetencia 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, estimuló estrategias autorreguladoras 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. Esto se evidenció en la integración de conceptos, articulación de metodologías, mejoras en la toma de decisiones y acercamiento a asuntos amplios, que se muestra en la figura 3.

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) de que la implicación activa del sujeto en el proceso de aprendizaje aumenta cuando se valoran 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 evidencia 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 aprendidos de 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 monitoree 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 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 fue presentada 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 acercamientos interdisciplinarios. La idea fundamental que subyace a estos hallazgos es que la dimensión afectiva interactúa 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 interdisciplinar, 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 interdisciplinar, ya que al 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 se tiene en cuenta no sólo la ejecución real del problema sino también la experiencia metacognitiva del resolvente.

Los estudiantes considerados para el estudio de casos se arriesgaron con el propósito de trascender el campo del conocimiento de las comunicaciones radiodigitales. Revisaron

algunos conceptos sobre probabilidad y estadística, señales, medios de transmisión y programación. 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 aproximaciones interdisciplinarias 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.

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

## CONCLUSIONES

Los acercamientos interdisciplinarios propiciados a través del PI-NA suscitaron apertura, diálogo, colaboración y complementariedad entre profesionales y campos de conocimiento de distintas disciplinas (Electrónica, Sistemas, Administración e Ingeniería Industrial) para la resolución del problema. De igual manera, estimularon a los estudiantes considerados en el estudio de casos a asumir una posición o toma de decisiones dentro del grupo de trabajo, lo cual es esencial para lograr la emergencia del sujeto. Sin embargo, frente a la resolución de cualquier problema es necesario tener en cuenta las individualidades de quienes la enfrentan, pues a partir de ellas (conocimientos, experiencias, tipo de inteligencia, creatividad...) se determinan en gran medida sus aproximaciones, y la reflexión que la situación suscita, y por consiguiente, el curso de acción por seguir frente al obstáculo que enfrenta(n) el (los) estudiante(s) o grupo(s) que la aborda(n).

Se detectó la persistencia de dos dificultades en la operación del trabajo autónomo con responsabilidad a través de la intervención didáctica, a saber: 1) Establecer espacios de aprendizaje autónomo de manera sistemática, junto con los objetivos de aprendizaje, y 2) Medir los desarrollos alcanzados en independencia académica en el trabajo de laboratorio realizado por los estudiantes. Porque la detección del aprendizaje autónomo con responsabilidad sólo es posible si el estudiante hace uso efectivo del mismo o hace una descripción explícita de dichos procesos; al respecto, y según la literatura, no parece que se hayan alcanzado consensos en cuanto a los métodos de detección.

La aplicación de un enfoque interdisciplinario en cualquier disciplina y a través de PI-NA permite formar desde múltiples perspectivas y puntos de vista 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 acercamientos 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 aisladas del trabajo de otros empleados. El enfoque es global, contextual y situado. Cada acción que propone un empleado no sólo se coordina con 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 de fomentar la transferencia científica de la universidad a las empresas de una manera más efectiva.

El trabajo colaborativo y cooperativo entre iguales también favorece 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 e intercambio que enriquecen 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 quienes la enfrentan, pues a partir de ellas (conocimientos, experiencias, tipo de inteligencia, creatividad...) se determina en gran medida el acercamiento 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.

## REFERENCIAS

- 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.

- Crawley, E. F. (2001). *The CDIO syllabus: A statement of goals for undergraduate engineering education*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
- Crawley, E. F. & Malmqvist, J. (2009). *Rethinking engineering education: The CDIO approach*. Beijing: Higher Education Press.
- Duell, O. (1986). Metacognitive skills. En G. D. Phye & T. Andre (Eds.), *Cognitive classroom learning: understanding, thinking and problem solving* (pp. 98-108). Nueva York: Academic Press.
- Elshout, J. (1985). Problem solving and education. Ponencia presentada en la EARLI Conference, Lewen.
- Forman, E. & Cazden, C. (1995). Exploring Vygotskian perspectives in education: The cognitive value of peer interaction. En Wertsch, J. V. (ed.), *Culture, communication and cognition: Vygotskian perspectives* (323-347). Cambridge: Cambridge University Press.
- Gómez, J. (2001). *El concepto de competencia. Una mirada interdisciplinar*, tomo I. Bogotá: SOCOLPE - Alejandría Libros.
- 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.
- Hiebert, J. y Lefevre, P. (1986). Conceptual and procedural knowledge in mathematics: An introductory analysis. En J. Hiebert (Ed.), *Conceptual and procedural knowledge: The case of mathematics* (pp. 1-27). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Knowles, M. (1975). *Self-directed learning*. Chicago: Association Press.
- 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.
- Motschnig, R. & Figl, K. (2007). Developing team competence as part of a person centered learning course on communication and soft skills in project management. *Ponencia presentada en el 37o congreso Frontiers in Education, IEEE, Milwaukee*.
- Paz, H. (2007). El aprendizaje situado como una alternativa en la formación de competencias en ingeniería. *Revista Educación en Ingeniería*, 2 (4), 1-13.
- Paz, H. (2012). Análisis comparado de las tendencias didácticas basadas en resolución de problemas en ingeniería. *Argos*, 29 (57): 126-149.
- Paz, H. (2011). How to develop metacognition through problem solving in higher education? *Revista de Ingeniería e Investigación*, 31 (1): 75-80.
- Pérez, G. (1992). La interacción teoría-práctica en la formación del docente. En *Las didácticas específicas en la formación del profesorado. Actas del Congreso* (pp. 5-51). Santiago de Compostela: Tórculo.
- Piaget, J. (1973). *Psicología y pedagogía*. Barcelona: Editorial Ariel.
- Rogoff, B. (1993). *Aprendices del pensamiento. El desarrollo cognitivo en el contexto social*. Barcelona: Paidós.
- Shulman, L. y Keislar E. (2000). *Aprendizaje por descubrimiento*. México: Trillas.
- Stake, R. (1999). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Ediciones Morata.
- Tovar, J. (2005). Evaluación metacognitiva y el aprendizaje autónomo, *Tecné Episteme y Didaxis TEA*, nº especial de mayo, Segundo congreso sobre formación de profesores de ciencias, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C.
- 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.