

La enseñanza centrada en resolución de problemas pone en marcha estrategias metacognitivas en a formación del estudiante de ingeniería



Hernán Paz Penagos

Estudiante del programa de doctorado interinstitucional de Educación, sede de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia. Magíster en teleinformática e Ingeniero Electrónico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Ingeniero electricista, Universidad Nacional de Colombia. Filósofo, Universidad Santo Tomás de Aquino. Profesor Asistente, Programa de Ingeniería Electrónica, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
hernan.paz@escuelaing.edu.co

Recepción: 30 de mayo de 2009 | Aceptación: 13 de octubre de 2009

Resumen

Cuando se trata de resolver problemas en ingeniería, las actividades académicas realizadas por los estudiantes y orientadas por el profesor enfatizan en las estrategias cognitivas y en los procedimientos necesarios para su resolución correcta. Sin embargo, falta propiciar el acercamiento al conocimiento de las habilidades de aprendizaje propias del estudiante (metacognición), de tal manera que se favorezcan el autoconocimiento y el desarrollo de la capacidad de valoración y control de las propias aptitudes y limitaciones a la hora de orientar su aprendizaje. El artículo identifica los rasgos metacognitivos que propician en los alumnos las tendencias sobre resolución de problemas (RP) en la enseñanza y evaluación de la ingeniería.

Palabras clave

Metacognición
Regulación del aprendizaje
Resolución de problemas
Ingeniería

Problem resolution centered teaching starts meta-cognitive strategies in engineering student education

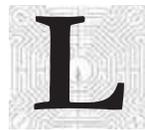
Abstract

When solving engineering problems, teacher oriented academic activities done by the students are centered in cognitive strategies and the necessary procedures for their correct solving. However, it's also necessary to encourage an approach to a knowledge of the student's learning abilities (meta-cognition) in such a manner that auto-knowledge, assessment capability and aptitude and limitation control are nourished during learning orientation. The paper identifies the meta-cognitive characteristics that encourage problem solving (RP) tendencies in the students subject to engineering teaching and assessment.

Key words

meta-cognition
Learning regulation
Problem solving
Engineering

Introducción



Los estudiantes de ingeniería enfrentan diversas dificultades en el aprendizaje de las asignaturas del núcleo de básicas y de la ingeniería aplicada. Esta situación invita a la reflexión sobre nuevas estrategias de enseñanza que faciliten el aprendizaje, no solo a través de la construcción del conocimiento sino, también, de la comprensión y autogestión conscientes del propio aprendizaje.

El enfoque Resolución de Problemas (RP), como actividad mediadora en el desarrollo de funciones cognitivas, ha sido reconocido durante muchos años, desde sus orígenes, por el método de indagación propuesto por Dewey (Mayer, 1986). En la actualidad, dos objetivos de interés, propios de los proyectos curriculares para la enseñanza, aprendizaje y evaluación RP de la ingeniería, giran en torno a dos categorías: la formación integral y los procesos metacognitivos (Bower *et al.* 2004; Litzinger *et al.* 2005; Xavier *et al.* 2001). Los objetivos correspondientes a la categoría de procesos metacognitivos, que interesan para el presente estudio, versan sobre las estrategias de planificación, regulación, evaluación y mejora de los procesos subjetivos de pensamiento, toma de decisiones, etc.

El objetivo de la investigación que se expone, cuyos resultados se reportan en otro apartado, consiste en identificar rasgos metacognitivos de los estudiantes propiciados por la metodología de enseñanza centrada en RP en ingeniería. Para eso se hará una revisión histórica y epistemológica, y se seguirá el análisis de contenidos propuesto por Páramo y Otálvaro (2006) sobre la enseñanza en ingeniería centrada en RP, metacognición y su implicación; así se obtendrán las contribuciones de la primera sobre la segunda.

Hipótesis de investigación

¿Qué rasgos metacognitivos para el aprendizaje se propician en los estudiantes como resultado de la aplicación de estrategias RP en la enseñanza de la ingeniería? Esta pregunta, que orientó toda la investigación, generó la siguiente hipótesis de trabajo: los estudiantes de ingeniería que aprenden su saber disciplinar mediante estrategias RP evidencian cambios en la autodirección del aprendizaje.

Marco teórico

Los problemas tradicionalmente propuestos en ingeniería tienen características específicas en cuanto a que, en la mayoría de los casos, los

profesores presentan situaciones didácticas que asumen, en mayor o menor grado, una forma compleja y cuyo objetivo principal es la retención o aplicación de los contenidos de la disciplina. Tales actuaciones didácticas aparecen regularmente en el contexto de los temas que se trabajan. Los procedimientos para su solución son, generalmente, conocidos por los alumnos. Con lo anterior se evidencia una concepción heurística del problema que no tiene en cuenta, al menos de manera explícita, el desarrollo metacognitivo del estudiante.

Para efectos de este trabajo, se entiende por problema una situación significativa, compleja, contextualizada y real dentro de la cual se formulan preguntas que no tienen una única respuesta y cuyo abordaje requiere la generación de nuevos conocimientos interdisciplinarios. Según esta definición, se infiere que en todo problema verdadero el sujeto desconoce la vía de solución y, al posicionarse frente a tal situación, adopta un carácter activo y reflexivo. Por otra parte, resolver un problema

significa evaluar las posibles soluciones, seleccionar aquella o aquellas que en mayor medida satisfacen las especificaciones planteadas, implementar la solución y posiblemente hacer una nueva revisión de las soluciones.

En ingeniería se pueden identificar tres tipos de problemas: descriptivos y analíticos, explicativos y aquellos que proponen soluciones. Sobre los últimos se centrará el presente trabajo de investigación. Los problemas que proponen soluciones se caracterizan por ser no rutinarios y mal definidos. Como se indicó arriba, no son los que más abundan en contextos de ingeniería; sin embargo, son los más útiles para propiciar procesos metacognitivos porque pueden adoptar múltiples procedimientos e implican tomar posicionamientos teóricos con respecto a la forma de entender el problema (Barbey & Barsalou, 2009).

Pozo y Postigo (1994) presentan en la figura 1 una explicación relacionada e integral de los procesos y las formas de razonamiento que desencadenan la aplicación de estrategias RP en ciencias.

Figura 1. Procesos y formas de razonamiento implicados en la solución de problemas



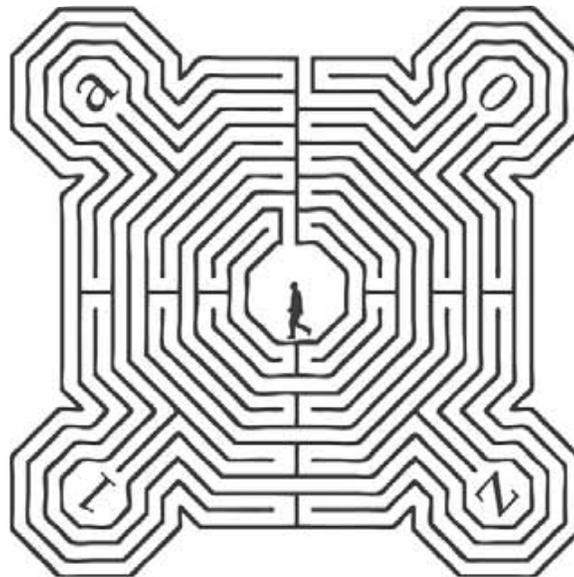
Fuente: Pozo y Postigo (1994, 8)

En primer lugar, en la resolución de un problema relativamente complejo es fácil que se apliquen razonamientos de distinto tipo, ya sean deductivos, inductivos o por analogía. Por ejemplo, cuando se trata de la aplicación de algún algoritmo, principio o reglas probadas, el modo dominante es el razonamiento deductivo. Si se utilizan procedimientos heurísticos, de ensayo y error, el modo de razonamiento correspondiente es el razonamiento inductivo. Y en caso de que se transfiera la solución de un determinado

problema a la solución de un problema nuevo, con las adaptaciones que, incluso, fueran necesarias, el modo de razonar más propio la analogía.

Los autores que, para el caso de problemas no rutinarios y mal definidos, se inclinan por modelos en los que predomina el razonamiento analógico son bastantes, entre ellos, Baker (1991); Chrysikou (2006); Gorodetsky y Klavir (2003); Leake (2001); Simon (2001) y VanLehn (1998). No obstante, a la vista de la variedad de procesos involucrados, parece más razonable admitir la intervención de los distintos modos de razonar en los diferentes momentos de la RP, aunque uno de ellos se destaque sobre los demás.

El resto de los procesos implicados son explicados por Pozo y Postigo (1994) de manera sencilla. Los procesos de metacognición son aquellos que tienen que ver con la toma de conciencia sobre las propias vías de RP, no solo de esos procesos, sino también de las alternativas que las personas disponen para solucionarlos. Ellos insisten, por otra parte, que por muy experta que sea una persona en solucionar todo tipo de problemas, necesita un marco de referencia, constituido por conocimientos específicos y unas destrezas técnicas pertenecientes al dominio concreto, que deben ser previas a la puesta en marcha de determinadas soluciones. A estos requisitos hay que agregar también los correspondientes procesos básicos de aptitud intelectual, recuerdo, comprensión, aplicación, análisis, evaluación y proceso creador, así como las mínimas estrategias de apoyo que son necesarias, en términos de motivación, concentración o firmeza y resolución para la toma de decisiones.



Enfoques teóricos recientes sobre RP en la enseñanza de la ingeniería

Durante los últimos cinco años se han producido algunos trabajos de investigación, predominantemente prácticos, sobre RP en ingeniería, tales como estudios de caso, RP a través del trabajo cooperativo y colaborativo, aprendizaje basado en la formulación de problemáticas y organizado por proyectos, RP para la formación por competencias y uso de nuevas herramientas de enseñanza para la RP en ingeniería. Las diferencias que hay entre estas propuestas no se encuentran en los objetivos en sí mismos, ya que todos buscan producir cambios en los profesionales de ingeniería; más bien, en la forma de alcanzar dichos objetivos y en el tratamiento de los problemas.

El análisis de contenido de estos enfoques se abordó desde tres puntos de vista: el problema en sí mismo, el proceso de RP y la autodirección del aprendizaje propiciado en dicho proceso.

Acerca de las definiciones de problema, evidenciadas en los trabajos RP en ingeniería, se puede establecer una tipificación debido a su diversidad. Los problemas son estructurados con base en principios teóricos y en objetivos de aprendizaje, y su

contenido es una descripción de un conjunto de fenómenos que necesitan ser explicados a través del modelamiento. Por su parte, los procesos de resolución son abordados de manera colaborativa e interdisciplinaria para evaluar las posibles soluciones y seleccionar aquella con un enfoque más innovador para implementarla como tal. Las concepciones

sobre problema y RP, identificadas en los enfoques arriba especificados, se podrían clasificar desde la incógnita, el sentido y la estructura del problema.

En la perspectiva teórica de las tendencias sobre RP examinadas, el aprendizaje no es una asimilación mecánico-pasiva de conocimientos cuantitativos. Es un proceso de enfrentamiento activo y reflexivo en un contexto (problema); tiene lugar a partir de conocimientos previos, y produce un reordenamiento y una reestructuración de las ideas acerca del asunto. Además, se basa en las necesidades y expectativas de los sujetos involucrados en el mismo proceso ya que “*no hay aprendizaje sin participación*” (De Schutter, 1981, 15). Otros elementos que están presentes en la RP y favorecen el aprendizaje son la necesidad de competencia y eficacia, la necesidad de autonomía y autodeterminación, y la necesidad de integración (Babbs & Moe, 1983; Carrasco, 1997).

El proceso RP implica condiciones sicopedagógicas bajo las cuales transcurre el aprendizaje, roles de quien aprende y de quien enseña, y resultados de aprendizaje esperados. Así mismo, la RP adquiere peculiaridades que se pueden consultar según el enfoque. Estudios de caso: Fitzpatrick (2008); Mantri *et al.* (2008). RP a través del trabajo cooperativo y colaborativo: Laforcade *et al.* (2003); Reisslein *et al.* (2007). Aprendizaje basado en la formulación de problemáticas y organizado por proyectos: González & Loya (2007); Motschnig & Figl (2007). RP para la formación por competencias: Abet (2005); Furmanski *et al.* (2006); Tuning América Latina (2007). Y uso de nuevas herramientas de enseñanza para la RP en ingeniería: Juing-Huei *et al.* (2007); Ramos, Ramírez & Franco (2005). Todos ellos enfatizan en los aspectos de representación y comprensión del problema, búsqueda y selección de estrategias de solución y modelamiento en la RP, como claves del proceso de la resolución.

Durante el curso de una actividad intelectual RP, en algún momento se hace un análisis de la marcha del proceso. Monitorear y controlar el progreso de estas actividades intelectuales son, desde el punto

de vista de la psicología cognitiva, los componentes de la metacognición. Hallazgos de investigación en educación matemática (Barberá y Gómez-Granell, 1996), señalan que el desarrollo de la autodirección del aprendizaje en temas complejos es difícil y frecuentemente implica modificaciones de conducta (desaprender conductas inapropiadas de control adquiridas antes). Estos cambios se pueden realizar pero requieren largos períodos de tiempo.

La autodirección del aprendizaje es un concepto teórico y práctico relacionado con los trabajos de Knowles (1975) y con su modelo del aprendizaje para toda la vida. La definición más recurrente en la literatura corresponde a este autor e indica que la autodirección del aprendizaje es un proceso en donde los individuos toman la iniciativa, con o sin ayuda de otros, para diagnosticar sus necesidades de aprendizaje, formular sus metas en este proceso, identificar los recursos materiales y humanos para aprender, seleccionar e implementar las estrategias de aprendizaje apropiadas y evaluar los resultados de aprendizaje (p.18). Algunos autores como Litzinger *et al.* (2005); Ozuah *et al.* (2001); Ponton *et al.* (2004); Xavier *et al.* (2001), y Zimmerman (1994) han examinado el impacto de los factores académicos asociados a la autodirección del aprendizaje y plantean modelos que establecen una relación directa entre procesos educativos centrados en el alumno y el desarrollo de la autodirección.

Metacognición

Los procesos metacognitivos tienen una importancia capital en el aprendizaje; son los sistemas de alerta y de conciencia que han de acompañar a toda labor intelectual. Su ausencia en los estudiantes provoca grandes pérdidas de tiempo en el estudio con pobres resultados. Su presencia se correlaciona con una alta capacidad intelectual, eficacia y eficiencia en el trabajo (Flavell, 1976; Brown, 1987).

¿Qué es metacognición? Para entender este concepto se deben tener claro los antecedentes y un conjunto de aspectos que contribuyen a una definición en sentido amplio. El estudio de la

metacognición, desde una perspectiva histórica, empezó en la década de los setenta con estudios de casos sobre los procesos de memorización en niños (Flavell & Wellman, 1977). Estas investigaciones tenían como objetivo comprender las operaciones implicadas en el aprendizaje escolar y pretendían identificar las estrategias de enseñanza que favorecían un aprendizaje eficaz en los alumnos. Los resultados obtenidos permitieron distinguir entre el conocimiento que tiene el niño de sus propios procesos cognitivos (dominio del conocimiento metacognitivo) y el nivel de regulación de dichos procesos para ser eficiente en determinadas tareas (dominio de la experiencia metacognitiva): Al final, se concluyó que ambos aspectos eran complementarios; se identificó el primero con el conocimiento declarativo y el segundo, con el conocimiento procedimental.

El concepto de metacognición, según Flavell (1976) y Brown (1987), tiene dos significados que se encuentran estrechamente vinculados: conciben la metacognición como producto o bien como proceso. El primer significado es declarativo y alude al conocimiento de la actividad cognitiva; mientras que el segundo se refiere al conocimiento de los procedimientos de supervisión y regulación que se implementan sobre la actividad cognitiva al enfrentar una tarea de aprendizaje.

Años después, se reportaron estudios sobre experiencias metacognitivas vinculadas a algunos campos específicos del conocimiento. En escritura: Camps y Castelló (1996); en comprensión de lectura: Alonso Tapia y Carriedo (1996); en Ciencias Naturales: Jorba y Sanmartí (1994); Pozo y Gómez (1996), y en Matemáticas: Barberá y Gómez-Granell (1996). Todos ellos reflexionan sobre los procesos cognitivos y metacognitivos involucrados en la atención, comprensión, memoria, lectura, RP y recursividad de los estudiantes eficientes, e identifican la actividad estratégica de estos como elemento clave a la hora de enfrentarse a una tarea.

En lo que respecta a la educación superior, se relaciona los procesos de RP con la formación

de conceptos científicos y el desarrollo de la capacidad de autorregulación del aprendizaje: Lacasa y Herranz (1995); Rogoff (1993). Se insta a resolver problemas desde diversas formas de interacción social con el propósito de favorecer el desarrollo de habilidades metacognitivas de los propios procesos de pensamiento de los alumnos: Resnick (1999). Así mismo, se explicitan modelos de aprendizaje autorregulado que tratan de integrar los aspectos cognitivos, afectivo—motivacionales y comportamentales del estudiante: Boekaerts (1996); Nikerson *et al.* (1990); Pintrich (1995).

Desde una perspectiva más actual, la metacognición es un conjunto de operaciones que gestiona los conocimientos involucrados en una tarea y vela porque esta gestión sea productiva (Basoredo, 2009). Está constituida por dos componentes generales: el conocimiento del aprendiz (general, específico y relacionado) y los procedimientos metacognitivos (habilidad para utilizar, organizar, revisar y modificar las estrategias en función de las demandas de la tarea de aprendizaje y de los resultados obtenidos). Dicho concepto se puede clasificar según la variable que afecta la actuación en el desarrollo de la tarea, a saber: 1) metacognición personal o conocimiento sobre la estructura mental y sus contenidos, 2) metacognición de la tarea o conocimiento que el individuo tiene de la dificultad de los problemas que debe resolver y 3) metacognición de las estrategias o conocimiento sobre los pasos que la persona puede dar para influir en el rendimiento de la memoria.

De todos los aspectos que abarca el concepto de metacognición relacionado con la RP, esta investigación se centrará en lo que tiene que ver con el desarrollo de estrategias metacognitivas propiciadas por la RP.

Metodología centrada en RP y favorecimiento de estrategias metacognitivas en los estudiantes

La estrategia RP propicia condiciones sicopedagógicas que favorecen en el estudiante procesos

metacognitivos: desencadena un conflicto cognitivo como mecanismo de solución y como consecuencia indirecta del mismo que da origen a un desequilibrio, el cual obliga al estudiante a autoestructuración y autodescubrimiento para llegar al equilibrio. Así mismo, lo implica de manera activa en el proceso de aprendizaje dándole la posibilidad de sentirse autocompetente, es decir, que confía en sus propias capacidades, tiene expectativas de autoeficacia, valora las tareas y se siente responsable de los objetivos de aprendizaje (González-Pienda *et al.*, 1997; Miller *et al.* 1993; Zimmerman *et al.* 1992).

En este sentido, Borkowski y Turner (1990) conceptualizaron la metacognición en términos de algunos componentes cuyas características principales fueron la interactividad y la interdependencia. Aunque el modelo desarrollado por estos autores se centró, originalmente, solo en el funcionamiento de los procesos estratégicos de la memoria, sus componentes pueden referirse a un amplio rango de actividades cognoscitivas tales como la lectura comprensiva y la resolución de problemas.

El planteamiento de una situación problemática abierta contribuye al desarrollo de estrategias metacognitivas porque es un motivo para que el estudiante busque estrategias de solución, las evalúe, seleccione la más adecuada y la implemente; así mismo, la representación del enunciado de la situación problemática, que es favorecida en todas las estrategias RP, es un detonante de desarrollos metacognitivos porque implica procesos de pensamiento de completar o desechar información, interpretar y relacionar información con las concepciones personales previas. Sin embargo, un obstáculo que los estudiantes encuentran en la RP suele estar en la dificultad de hacer consciente y explícito cuál es el sistema bajo estudio y cómo este es modelado. En la medida en que todos los procesos involucrados en la RP se hagan conscientes y explícitos, el estudiante estará en condiciones de reflexionar sobre ellos y de realizar procesos metacognitivos.

Además, si el planteamiento, la representación y RP se acompañan de una evaluación reflexiva y explícita, a través de la verbalización en la clase, se provoca conocimiento metacognitivo y estratégico del estudiante. La verbalización de los pasos y razonamientos, que se siguen o dan al resolver problemas de ingeniería, fue seguido por primera vez por Hatton (1967); después fue aplicado por Greenfield (1979) y recientemente utilizado por Sauren y Van Genderen (2002) en Eindhoven/Maastricht (Holanda), y por Tim Dornan, Norman Powell y Barry Lennox en el Instituto de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Manchester (Reino Unido). En tal dirección apuntan también Walker y Leary (2009, 8) quienes afirman que los procesos de verbalización o de “pensamiento en voz alta” a la hora de resolver problemas favorece mecanismos metacognitivos ya que hace al estudiante más consciente de las estrategias de resolución, de las dificultades del problema y la monitorización del proceso. Sin embargo, también se puede convertir en un obstáculo cuando se le pide a quien resuelve dar cuenta del proceso y él no es capaz de reconstruirlo.

Los problemas que proponen una solución y que podrían favorecer el desarrollo de estrategias metacognitivas presentan varias características. De un lado, para la autocrítica: problemas con datos insuficientes, superfluos y/o contradictorios; presentación de soluciones de problemas con errores difíciles de detectar a priori y/o diferentes a un mismo problema; de otro, para la toma de decisiones: problemas que no exijan cálculos para encontrar su solución, que requieran de una sólida fundamentación teórica; presentación de soluciones de problemas con una vía de solución correcta y otra incorrecta; problemas cuya respuesta requiera un análisis complementario (estimar valores negativos, fraccionarios, etc.) y problemas en los cuales se le ofrezca al estudiante un conjunto de posibles respuestas para que él seleccione la correcta y justifique el porqué de su elección.

También se sugiere utilizar en la clase tipos de problemas mal estructurados, mal definidos o no

rutinarios, de manera que le permitan al alumno tomar decisiones, involucrarse y activar conocimientos, habilidades y competencias de mayor relevancia que cuando trabajan con problemas bien definidos (Jonassen, 2000; Schoenfeld, 1992).

Ahora bien, para que un estudiante aprenda a resolver problemas de una manera correcta, no es suficiente que resuelva muchos problemas ni tampoco que conozca muchas estrategias de resolución; según Schoenfeld (1992), hay que controlar la actividad de la RP. Si se toma una estrategia y unos recursos para intentar resolver un problema, hay que controlar lo que pasa y, en cierto momento, interrumpir porque no es la estrategia más indicada e intentar con otra. La decisión de tomar y no *x* estrategia, la decisión de continuar la resolución con la primera (*x*) en lugar de cambiarla o la decisión de parar el trabajo y cambiar de ruta es metacognición. Eso significa que el sujeto planifica su propio proceso de aprendizaje, lo supervisa, lo controla, lo valora y lo regula.

Dos factores que se combinan inciden significativamente por modelado sobre la percepción y conducta del estudiante. Las conductas de inducción a la metacognición desplegadas por los compañeros de clase más avanzados y por el profesor, que desarrollan actividades académicas RP independientes y grupales, tales como motivación para aprender/enseñar, formulación de objetivos a alcanzar, revisión y ajuste de estrategias para el logro de los objetivos, entre otros.

La motivación continua del proceso RP, la facilitación de recursos y medios, así como los refuerzos y compensaciones benefician el autoconcepto académico y estimula el desarrollo de estrategias metacognitivas. La idea fundamental que subyace a estas teorías y modelos es que la dimensión afectiva interacciona significativamente con la dimensión motivacional en la determinación del esfuerzo que el alumno esté dispuesto a emplear para la puesta en marcha de las variables de orden cognitivo y metacognitivo, con el objeto de lograr un aprendizaje óptimo y significativo (Boekaerts,

1996; Borkowski, 1992; Borkowski, 1992; García & Pintrich, 1994; McCombs, 1988; Zimmerman *et al.*, 1996).

Hacia mediados de los años ochenta se produjo una extensión de la noción de constructivismo desde la esfera puramente cognitiva, donde se realizó la mayor parte de la investigación, hacia la esfera social. Muchas líneas de investigación cognitiva, y dentro de ellas la RP, se orientan entonces hacia la hipótesis de que los individuos desarrollan hábitos y habilidades de interpretación y construcción de significados a través de un proceso de socialización, más que de instrucción. 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 (Rogoff, 1993, 146).

El trabajo grupal que realizan los estudiantes alrededor del problema se fundamenta en los principios del aprendizaje cooperativo: a) interdependencia positiva, a partir del cual se proporcionan apoyo y coordinan sus esfuerzos; b) interacción cara a cara, referido a la necesidad de hacer preguntas, discusiones, explicaciones, etc.; c) evaluación de las responsabilidades personales y grupales, mediante el cual una evaluación del trabajo realizado por el grupo proporciona retroalimentación sobre el desempeño individual y grupal, con el fin de fortalecerse académica y afectivamente. Para que operen los factores individuales y sociales del aprendizaje, se señala enfáticamente como elemento determinante que el alumno asuma la responsabilidad de su propio proceso de aprendizaje, por medio de su participación en la organización de sus actividades grupales e individuales de estudio autodirigido, en su propia evaluación y en la de sus pares.

La información es mejor comprendida y recordada si el estudiante tiene la oportunidad de discutirla con otros, hacer preguntas, formular hipótesis, analizar, etc. Cuando realizan estas actividades es más difícil que olviden. El intercambio de información

entre compañeros que tienen diferentes niveles de conocimiento provoca una modificación de los esquemas del individuo y así se produce un aprendizaje. Los estudiantes realizan un esfuerzo cognitivo continuamente al explorar su conocimiento hasta sus límites, así identifican lo que saben y también lo que ignoran, por lo que se construye sobre lo que realmente saben. La interacción social de los estudiantes en el aula aportan al profesor información útil y necesaria para identificar el estado y las maneras a través de las cuales los estudiantes están aprendiendo, y al estudiante le permite saber qué y cómo aprende determinado contenido.

Rasgos metacognitivos propiciados por la enseñanza basada en RP en ingeniería

El análisis de algunos trabajos prácticos en el aula o el laboratorio, sobre la base de los enfoques RP en ingeniería, mencionados más arriba, permitió identificar, entre otros, algunos rasgos metacognitivos en los estudiantes:

1) La autonomía y la toma de conciencia, rasgos metacognitivos (Duell, 1986), 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 solución más innovadora.

2) La interacción en grupos de trabajo colaborativo es un método efectivo para promover el desarrollo cognitivo y metacognitivo de los estudiantes. Así lo demuestran los estudios de Ferreiro y Calderón (2000) y de Johnson y Johnson (1987) sobre la resolución de problemas a través de trabajos colaborativos y cooperativos en el aula de clase, ya que diferentes participantes, en una sana competencia grupal, aportaron una variedad de propuestas de resolución argumentadas; además, presentaron habilidades comunicativas a la hora de exponer sus iniciativas, lo cual generó conciencia crítica y toma de decisiones en unos estudiantes.

Cuando trabajaron colaborativamente, los estudiantes recibieron retroalimentación de sus com-

pañeros 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 lograr generalizar el modelo planteado. La exposición de la solución y la estrategia de resolución fueron planteadas por los estudiantes, quienes llevaron la pauta sobre el cuestionamiento a los equipos con respecto a las diferentes representaciones empleadas, las consideraciones tomadas, los resultados obtenidos, etc. Todo ello fomentó procesos metacognitivos en el estudiante. Sin embargo, también se convirtió en una barrera del aprendizaje para otros, por la falta de pensamiento reflexivo y el miedo al error.

3) En una experiencia educativa por estudio de casos, en la cual se generaron espacios de discusión para que los estudiantes se involucraran en el proceso de aprendizaje y asumieran posturas críticas frente a sus propias ideas, Schraw (1994) muestra cómo algunos estudiantes participaron sin temor, reconocieron las ideas de otros y cambiaron sus respectivos puntos de vista porque los otros se presentaban más viables (rasgo metacognitivo); todo ello, gracias al ambiente de confianza, de colaboración y de conversación educativa que promovió el profesor en el laboratorio y en el aula de clase.

4) La negociación de la semántica de los enunciados del problema, así como el reconocimiento de patrones, que se propician generalmente en el enfoque RP por competencias, contribuyen en el desarrollo de procesos metacognitivos porque motivan a los estudiantes y facilitan la transferibilidad de unas estrategias de resolución a otros contextos. Del mismo modo, el contenido del problema, cuando es representativo del contexto real de aplicación, tiene mayor comprensión y por ende más aprendizaje. No obstante, también se constata en otros estudios (Belland *et al.*, 2009; Bower *et al.*, 2004; Matthews, 2004) que los estudiantes generalmente no aplican estrategias metacognitivas cuando resuelven problemas; por ejemplo, a través

de la advertencia de la comprensión o no del enunciado, interpretación de lo que leen o escriben, control de las estrategias que aplican, revisión del sentido de la solución y del proceso seguido para detectar los errores cometidos y autorregulación de los procesos que han puesto en práctica cuando cambian los procesos inadecuados por otros efectivos (Mayor *et al.*, 1993).

5) La evaluación flexible —a través de auto-evaluación, coevaluación y heteroevaluación—, favorecida en la RP y considerada en los enfoques estudiados, es un dispositivo clave en la metacognición, porque está presente durante todo el proceso de enseñanza-aprendizaje. Tiene como propósito que el estudiante contraste la realización de sus tareas con los objetivos que él se propone alcanzar, reflexione sobre los resultados de su propio aprendizaje, retroalimente e introduzca oportunamente modificaciones que le permitan mejorar (Burón, 1996). Empero, en una experiencia educativa reportada por Strobel y Van Barneveld

(2009), el proceso de auto-regulación esperado resultó ser inestable en el tiempo, algunas veces automático y difícil de verbalizar (hacer un reporte de las actividades) debido a la falta de habilidades en los estudiantes y el profesor para realizar la evaluación flexible.

White y Mitchell (1994), en la experiencia académica *Project to enhance effective learning-PEEL*, para el desarrollo de procesos metacognitivos y autorreguladores en los estudiantes, realizada en la Universidad de Monash, Australia, identificaron algunas tendencias por las cuales los alumnos adquirieron un conocimiento pobre: no dirigieron la atención a las partes relevantes de la comunicación, captaron la información superficialmente, aplicaron conocimientos de manera inadecuada, procesaron poco la información, no reflexionaron en el sentido e implicaciones de la información. Sin embargo, su mayor hallazgo fue identificar que la enseñanza RP de la ciencia como investigación puede ser exitosa, creando niveles de rendimiento elevados.

Conclusiones

Con el trabajo realizado se hizo evidente que un buen uso del diálogo, de los métodos participativos y del modelamiento del profesor de ingeniería son condiciones necesarias para el desarrollo de estrategias metacognitivas. Además, también son condiciones, la precisión en el diseño curricular de las intenciones a través de la metodología, el análisis del contenido, los objetivos propuestos, etc.; es decir, tener claro los fines que se proyectan en lo educativo y diseñar la realización del proceso de formación. La pedagogía en metacognición tiene su propia significación y lógica y, de lo que se trata es de incorporarla como elemento educativo. En este sentido, el profesor debe prepararse y dirigir el proceso en esa dirección, intención que no depende de la casualidad ni de los criterios particulares de este, sino de todo el proceso de formación.

La habilidad del aprendizaje para toda la vida resulta medular en estas tendencias RP, ya que permite a los individuos desarrollar su potencial formal de aprendizaje fuera de las instituciones educativas. Dicha habilidad se evidencia por el nivel de autodirección alcanzado por los alumnos; es decir, por la forma en que cada individuo es capaz de diagnosticar, planear y ejecutar sus metas de aprendizaje de manera individual o con la ayuda de otros (Knowles, 1975).

Según los enfoques sobre RP que fueron revisados para este estudio, las dificultades más frecuentes para el desarrollo de estrategias metacognitivas en los estudiantes y el profesor fueron la carencia de una posición crítica por parte de los primeros para valorar sus concepciones de aprendizaje y el

temor al error; por parte del docente, la falta de reflexión y evaluación de su práctica educativa. Las creencias de los educadores también influyen sobre la actividad educativa centrada en RP: algunos de ellos creen que los problemas deben venir después de la teoría: tradicionalmente, dan la teoría y después la aplican.

Este trabajo permitió descubrir que el nivel de conciencia que tienen los estudiantes de sus procesos de aprendizaje y la regulación de los mismos no son independientes, y que los primeros constituyen una limitación importante en el momento de resolver un problema.

Bibliografía

Abet. (2005). Criteria for accrediting engineering programs. El línea: <http://www.abet.org/>, consultado el 19 de octubre del 2009.

Alonso Tapia, J. y N. Carriedo. (1996). "Problemas de comprensión lectora: evaluación e intervención", C. Monereo e I. Solé (Coord.): *El asesoramiento psicopedagógico: una perspectiva profesional y constructivista*. Madrid: Alianza Psicología, pp. 32-65.

Babbs, P. J. & A. J. Moe. (1983). "Metacognition: a key for independent learning from text", *The Reading Teacher*, 36. International Reading Association, pp. 422 - 426.

Baker, L. (1991). "Metacognition, reading, and science education", C. Santa y D. Alvermann (Ed.): *Science learning: Processes and applications*. Newark, DE: I.R.A., pp. 67-92.

Barberá, E. y C. Gómez-Granell. (1996). "Las estrategias de enseñanza y evaluación en matemática", C. Monereo e I. Solé (Coord.): *El asesoramiento psicopedagógico: una perspectiva profesional y constructivista*. Madrid: Alianza Psicología, pp. 15-39.

Barbey, A. K. & L. W. Barsalou. (2009). "Reasoning and problem solving models", L. R. Squire (Ed.): *Encyclopedia of Neuroscience*. La Jolla (CA): Elsevier Science, pp. 35-43.

Basoredo, C. (2009). "¿Cómo formular objetivos para el aprendizaje y el desarrollo de competencias?", *Quaderns Digitals*, 58. Bilbao: IVAP, pp. 43-54.

Belland, B.; French, B. & Ertmer, P. (2009). "Validity and problem-based learning research: a review of instruments used to assess intended learning outcomes", *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 3(1). Utah, pp. 59-89.

Boekaerts, M. (1996). "Self-regulated learning at the junction of cognition and motivation", *European Psychologist*, 1(2).¹Leiden University The Netherlands, pp. 100-112.

Borkowski, J. G. (1992). "Metacognitive theory: a framework for teaching literacy, writing, and math skills", *Journal of Learning Disabilities*, 25(4). University of Notre Dame, pp. 253-257.

Borkowski, J. G. y L. A. Turner. (1990). « Transituational characteristics of metacognition», W. Schneider y F. E. Weinert (Ed.): *Interactions among aptitudes, strategies, and knowledge in cognitive performance*. New York: Springer-Verlag, pp. 78-89.

Bower, K. C.; Ways, T. W. & Miller C. M. (2004). "Small group, self-directed problem based learning development in a traditional engineering program", *Frontiers in Education*,

- 3(34th Annual). Charleston, SC, USA, S1B/16-S1B/21.
- Brown, A. L. (1987). "Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms", F. Weinert & R. Kluwe (Ed.): *Metacognition, motivation, and understanding*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Burón, J. (1996). *Enseñar a aprender: Introducción a la metacognición*. Bilbao: Ediciones Mensajero.
- Camps, A. y M. Castelló. (1996). "Las estrategias de enseñanza-aprendizaje en la escritura", C. Monereo e I. Solé (Coord.), *El asesoramiento psicopedagógico: una perspectiva profesional y constructivista*, Madrid: Alianza Psicología, pp. 120-122.
- Carrasco, J. B. (1997). *Hacia una enseñanza eficaz*. Madrid: Rialp.
- Chrysikou, E. G. (2006). "When shoes become hammers: Goal-derived categorization training enhances problem-solving performance", *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 32(4), pp. 935-942.
- De Schutter, A. (1981). *Investigación participativa. Una opción metodológica para la educación de adultos*. Pátzcuaro, México: CREFAL.
- Duell, O. K. (1986). "Metacognitive skills", G. D. Phe & T. Andre (Ed.): *Cognitive classroom learning: understanding, thinking and problem solving*. New York: Academic Press, pp. 98-108.
- Ferreiro, G. R. y E. M. Calderón. (2000). *El ABC del aprendizaje cooperativo: trabajo en equipo para enseñar y aprender*. México: Trillas.
- Fitzpatrick, C. (2008). "A problem based learning (PBL) module on electronics & the environment", *Electronics and the Environment*. Limerick, Univ., Limerick, pp. 1-6.
- Flavell, J. H. (1976). "Metacognition and cognitive monitoring: a new area of cognitive developmental inquiry", *American Psychologist*, 34. American Psychologist, pp. 906-911.
- Flavell, J. H. & H. M. Wellman. (1977). "Metamemory", R. V. Kail Jr. & W. Hagen (Ed.): *Perspectives on the development of memory and cognition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Furmanski, J.; Kane, S. R.; Gupta, S. & Pruitt, L. A. (2006). "Problem-based learning and assessment of competence in an engineering biomaterials course", *Frontiers in education: FIE*, 21-22.
- García, T. & P. R. Pintich. (1994). "Regulating motivation and cognition in the classroom: the role of self-schemas and self-regulatory strategies", D. H. Schunk & B. J. Zimmerman (Ed.): *Self-regulation of learning and performance. Issues and educational applications*. Hillsdale, NJ: LEA, pp. 67-78.
- González, J. L. & J. E. Loya-Hernández, J. E. (2007). "Project-based learning of reconfigurable high-density digital systems design: An interdisciplinary context based approach", *Frontiers in education: FIE*, S1C-1-S1C-6.
- González-Pienda, J. A.; Núñez, J. C.; González-Pumariega, S. y García, M. (1997). "Auto-concepto, autoestima y aprendizaje escolar", *Psicothema*, 9(2). Universidad de Oviedo, Oviedo (España), pp. 271-289.
- Gorodetsky, M. & R. Klavir. (2003). "What can we learn from how gifted/average pupils describe their processes of problem solving?", *Learning and Instruction*, 13. Ben Gurion University, Beer Sheva, Israel, pp. 305-325.

Greenfield, L. B. (1979). "Student Problem Solving", *Engineering Education*. College of Engineering, pp. 709-712

Hatton, M. (1967). "Developing an Engineering Problem Solving Strategy", *Engineering Education*. New York, pp. 148-156.

Johnson, D. W. & R. T. Johnson. (1987). "Research shows the benefits of adult cooperation", *Educational Leadership*, 45(3). ¿Ciudad o editorial?, pp. 71-80.

Jonassen, D. (2000). "Toward a design theory of problem solving", *Educational Technology Research and Development*, 48(4). Universidad de Pensilvania, pp. 63-85.

Jonassen, D. & Tessmer, M. (1996). "An outcomes-based taxonomy for instructional systems design, evaluation and research", *Training Research Journal*, 2. Virginia, Estados Unidos, pp. 11-46.

Jorba, J. y N. Sanmartí. (1994). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de evaluación continua. Propuesta didáctica para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas*. Madrid: MEC.

Juing-Huei, S.; Shun-Chung, W.; Chyi-Shyong, L. & Jiann-Jong, Ch. (2007). "Enhanced problem-based learning of power converter theories and implementations with behavior model simulations", *Frontiers in education: FIE*, T2C-13-T2C-18.

Knowles, M. (1975). *Self-directed learning*. Chicago, Estados Unidos: Association Press.

Lacasa, P. y P. Herranz. (1995). *Aprendiendo a aprender: resolver problemas entre iguales*. Madrid: M.E.C. (CIDE)

Laforcade, P.; Barbier, F.; Sallaberry, C. & Nodenot, T. (2003). "Profiling cooperative problem-

based learning situations", *The Second IEEE International Conference on Cognitive Informatics*. LIUPPA, Pau Univ., France , pp. 32-38.

Leake, D. B. (2001). "Problem solving and reasoning: case based", N. Smelser & P. B. Baltes (Ed.): *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. Oxford: Elsevier Science, pp. 12117-12120.

Liztinger, T.; Wise, J. & Lee, S. (2005). "Self-directed learning readiness among engineering undergraduate students", *Journal of Engineering Education*, Vol. 2, Number 94. The Pennsylvania State University, pp. 215-222.

Mantri, A.; Dutt, S.; Gupta, J. P. & Chitkara, M. (2008). "Design and Evaluation of a PBL-Based Course in Analog Electronics", *IEEE Transactions on Education*, 51(4), Institute of Engineering and Technology (CIET), Punjab, India, pp. 432-438.

Matthews, B. (2004). "The effects of direct and problem-based learning instruction in an undergraduate introductory engineering graphics course". Unpublished doctoral dissertation, North Carolina State University.

Mayer, R. E. (1986). *Pensamiento, resolución de problemas y cognición*. Madrid, España: Paidós.

Mayor, J.; Suengas, A. y González, J. (1993). *Estrategias metacognitivas. Aprender a aprender y aprender a pensar*. Madrid: Síntesis Psicología.

McCombs, B. L. (1988). "Motivational skills training: combining metacognitive, cognitive, and affective learning strategies", C. E. Weinstein; E. T. Goetz & P. A. Alexander (Ed.): *Learning and study strategies: Issues in assessment, instruction and evaluation*. New York: Academic Press, pp. 141-169.

- Miller, R. B.; Behrens, J. T. & Greene, B. A. (1993). "Goals and perceived ability: impact on student valuing, self-regulation and persistence", *Contemporary Educational Psychology*, 18. University Oklahoma, pp. 2-14.
- Motschnig, R. & K. Figl. (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.
- Nickerson, R. S.; Perkins, D. N. y Smith, E. E. (1990). *Enseñar a pensar. Aspectos de la actitud intelectual*. Barcelona: Paidós.
- Ozuah, P.; Curtis, J. y Stein, R. (2001). "Impact of problem-based learning on residents' Self-directed Learning", *Pediatric Medical School*, 155. New York, pp. 669-672.
- Páramo, P. y G. Otálvaro. (2006). "Investigación alternativa: por una distinción entre posturas epistemológicas y no entre métodos", *Moebios*, 25, <http://www.moebio.uchile.cl/25/paramo.htm>. (11 de mayo de 2009).
- Pintrich, P. (1995). *Understanding self-regulated learning*. San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- Ponton, M.; Carr, P. y Derrick, G. (2004). "A path analysis of the conative factors associated with autonomous learning", *International Journal of Self-Directed Learning*, 1(1). SAGE Publications, pp. 59-69.
- Pozo, J. I. y M. A. Gómez. (1996). "El asesoramiento curricular en Ciencias de la Naturaleza", C. Monereo e I. Solé (Coord.): *El asesoramiento psicopedagógico: una perspectiva profesional y constructivista*. Madrid: Alianza Psicología, pp. 365-381.
- Pozo, J. I. y Y. Postigo. (1994). "La solución de problemas como contenido procedimental de la educación obligatoria", J. I. Pozo; M. P. Pérez; J. Domínguez y Y. Postigo: *La solución de problemas*. Madrid: Santillana, pp. 180-212.
- Ramos, C. A.; Ramírez, J. M. & Franco, E. (2005). "Platform for virtual problem-based learning in control engineering education", *44th IEEE conference on decision and control, 2005 and 2005 European control conference*. Sevilla, España, pp. 3432-3437.
- Reisslein, M.; Tylavsky, D.; Matar, B.; Seeling, P. & Reisslein, J. (2007). "Active and cooperative learning in a freshman digital design course: impact on persistence in engineering and student motivational orientation", *Frontiers in education: FIE*, S4A-1-S4A-6.
- Resnick, L. (1999). *La educación y el aprendizaje del pensamiento*. Buenos Aires, Argentina: Aique.
- Rogoff, B. (1993). *Aprendices del pensamiento. El desarrollo cognitivo en el contexto social*. Barcelona: Paidós.
- Sauren, A. & M. Van Genderen. (2002). "Problem-based learning at the Eindhoven/Maastricht BME program", *Engineering in Medicine and Biology 24th Annual Conference and the Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering Society. Proceedings of the Second Joint*, (3). Eindhoven/Maastricht, pp. 65-66.
- Schoenfeld, A. (1992). "Learning to think mathematically: problemsolving, metacognition and sense making in mathematics", *Handbook for Research on Mathematics Teaching and Learning*. New York: Macmillan, pp. 32-45.
- Schraw, G. (1994). "The effect of metacognitive knowledge on local and global monitoring", *Contemporary Educational Psychology*, 19. School of Education, Bar-Ilan University, Israel, pp. 143-154.

Simon, H. A. (2001). "Psychology of problem solving and reasoning", N. Smelser & P. B. Baltes (Ed.): *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*. Oxford: Elsevier Science, pp. 12120-12123.

Strobel, J. & A. van Barneveld. (2009). "When is PBL more effective? A meta-synthesis of metaanalyses comparing PBL to conventional classrooms", *Interdisciplinary Journal of Problembased Learning*, 3(1). Pennsylvania, 44-58.

Tuning América Latina (2007). *Reflexiones y perspectivas de la educación superior en América Latina*. Bilbao: Universidad de Deusto.

VanLehn, K. (1998). "Analogy events: How examples are used during problem solving", *Cognitive Science*, 22(3), pp. 347-388.

Walker, A. & H. Leary. (2009). "A problem based learning metaanalysis: differences across problem types, implementation types, disciplines, and assessment levels", *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 3(1). Utah State University, pp. 12-43.

White, R. T. & I. J. Mitchell. (1994). "Metacognition and the quality of learning", *Studies in sciences education*, 23. Pennsylvania, pp. 21-37.

Xavier, F.; López, A. M. & Rosado, L. (2001). "Cognitive and metacognitive model in electronics engineering teaching", 31th ASEE/IEEE frontiers in education conference, Reno, 10-13 October.

Zimmerman, B. (1994). "Dimensions of academic self-regulation: a conceptual framework for education", *Review of Educational Research*, 6(1). New York, pp. 88-131.

Zimmerman, B. J.; 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. New York, pp. 663-76.

Zimmerman, B. J.; Bonner, S. & Kovach, R. (1996). *Developing self-regulated learners. Beyond achievement to self-efficacy*. Washington, D.C.: APA.