

COMPETENCIAS, APRENDIZAJE ACTIVO E INDAGACIÓN: UN CASO PRÁCTICO EN INGENIERÍA*

Mauricio Duque Escobar

Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes. Bogotá (Colombia)

Resumen

En los últimos años una avalancha de ideas, conceptos, estrategias, metodologías ha venido invadiendo el campo de la formación de ingenieros: aprendizaje cooperativo, aprendizaje basado en problemas, aprendizaje activo, aprendizaje basado en proyectos, “hands-on”, aprendizaje significativo y pedagogías intensivas, entre muchos otros. El panorama se complica, cuando se insiste en la importancia de desarrollar competencias en los ingenieros, para lo cual hay que definirlas, “enseñarlas” y luego evaluarlas. Finalmente, para completar este caos, se desean introducir las tecnologías de la información y la comunicación. Un cierto sabor de eclecticismo parece invadir la docencia en ingeniería. Este artículo presenta un ejemplo de un curso basado en el concepto de indagación. Esta aproximación puede constituirse en un marco conceptual coherente que permite concatenar y seleccionar diferentes estrategias pedagógicas. El trabajo propone un nuevo modelo conceptual para el aprendizaje producto de la síntesis de dos modelos previamente desarrollados.

Palabras claves: didáctica, control, indagación, aprendizaje activo, evaluación.

Abstract

During the past years a great deal of ideas, concepts, strategies, methodologies have been invading the field of engineering education: cooperative learning, problem based learning, active learning, project base learning, hands-on, meaning learning and intensive pedagogies, within many others. The scene gets complicated when the importance for developing engineer competences is emphasized, for which they must be defined, taught and then evaluated. Finally, completing this chaos, it is desirable to introduce information and communication technology. Then, a certain eclectic flavor seems to be invading engineering teaching. This paper presents an example of a course based on the inquiry concept. This approach could be a coherent conceptual frame work that allows the concatenation and selection of different pedagogical strategies. This work proposes a new conceptual framework for learning as a synthesis of two previous models.

Keywords: didactic, control education, inquiry, active learning, assessment.

* Ponencia presentada en la XXVI Reunión Nacional de Facultades de Ingeniería “Retos en la formación del ingeniero para el año 2020, Septiembre de 2006. Primer Lugar, Premios ACOFI 2006.

Introducción

El creciente interés en la educación en ingeniería no deja de preocupar a más de un profesor, ya sea porque considera que se trata de una moda que puede hacer mucho daño al eliminar “los métodos rigurosos” con los que aprendió o ya sea porque considera que debe invertir en transformar su práctica para incorporar estas nuevas ideas para lo cual comienza a participar en cuanto seminario, taller, especialización o conferencia que sobre educación se le brinda. Estos eventos de formación a su vez pocas veces brindan ejemplos significativos para los profesores o posibilidades de vivenciar los espacios de aprendizaje propuestos.

Este trabajo trata de aportar elementos de respuestas a las siguientes preguntas a partir de la experiencia en un caso práctico de un curso en ingeniería desarrollado por el autor durante los últimos 8 años:

- 1) ¿Cómo plantear objetivos en términos de competencias?
- 2) ¿Qué estrategias pedagógicas se pueden utilizar para su desarrollo?
- 3) ¿Cómo evaluar?

El núcleo central del trabajo es el concepto de indagación (National Research Council, 2000) como filosofía articuladora de las estrategias y metodologías pedagógicas seleccionadas. Igualmente se presenta una conexión entre la indagación y el modelo de *aprendizaje por experiencia* de Kolb (1984) proponiendo un modelo síntesis.

1. Investigación, evidencias y aprendizaje humano

Cuando se enseña se confronta un fenómeno de la naturaleza: el aprendizaje humano. La formación como ingenieros indica que se debe conocer cuál es el estado del arte en la solución de este tipo de problemas para aprovechar el conocimiento científico y tecnológico con el fin de afrontar esta problemática con eficacia. Sin embargo, en este caso particular, no es lo que normalmente se hace (Hernández; Caicedo et al. 2004).

Si bien es poco lo que aún se sabe sobre el aprendizaje humano, lo aprendido sobre el tema

como resultado de la investigación científica en las últimas décadas cambia dramáticamente la visión sobre lo que significa aprender y enseñar. Un tema reservado a algunos profesionales en ciencias sociales es ahora del dominio de muchas especialidades que tratan de comprender este fenómeno desde sus diferentes campos (neurociencias, neurofisiología, inteligencia artificial, entre otros). En particular la ingeniería ha entrado dentro de las disciplinas cada vez más interesadas en el fenómeno del aprendizaje humano ya sea para imitarlo en máquinas dotadas de “inteligencia artificial”, ya sea para potenciarlo con tecnología.

Investigaciones sobre el funcionamiento del cerebro humano parecen validar teorías desarrolladas en el campo de las ciencias sociales (Spitzer, 1999). Tal es el caso de la visión constructivista sobre el aprendizaje. La brecha entre ciencias sociales y ciencias naturales en torno al aprendizaje se cierra, siendo su intersección un punto de grandes oportunidades para la construcción de nuevo conocimiento y para la innovación.

Lo que se sabe actualmente sobre el aprendizaje humano tiene consecuencias dramáticas sobre la enseñanza (Lachiver and Tardif, 2002):

- 1) Lo único que se puede transmitir entre dos seres humanos es información codificada y la información es sólo parte del conocimiento humano. Las habilidades, las actitudes, los procesos de pensamiento los construye quien aprende a través de su propia actividad.
- 2) Esta información debe ser captada por nuestros sentidos y decodificada utilizando lo que sabemos. Ello implica que la misma información codificada adquiere sentido y significado diferente para cada individuo, esto es el sistema de decodificación produce resultados diferentes.
- 3) El cerebro no se parece a una memoria de computador. De hecho cada unidad del cerebro (neurona) es un procesador (Spitzer, 1999). La información se almacena en el proceso mismo, no hay diferencia entre proceso y memoria.
- 4) El nuevo conocimiento, lo que aprendemos se construye utilizando lo que ya sabemos. Una red neuronal es un buen ejemplo, una nueva experiencia modifica muchas conexiones simultáneamente (Spitzer, 1999).

- 5) Para aprender se requiere que el aprendiz esté “activo” intelectual y físicamente. Lo que se aprende debe tener sentido. Adicionalmente, la motivación juega un rol central en el aprendizaje, particular en el aprendizaje duradero (National Research Council, 2000).
- 6) Lo que sabemos no se puede “medir” directamente, pues está codificado en los procesos intelectuales que podemos realizar, sólo podemos estimar lo que se sabe haciendo ejecutar esos procesos a través de desempeños observables (Stone, Boix et al. 1998).
- 7) La evaluación juega un rol fundamental, por ello evaluaciones mal desarrolladas y comunicadas tienen efectos altamente negativos en el aprendizaje (Harlen, 2004).
- 8) Cada individuo tiene estilos de aprendizaje diferentes que son modelados por muchos factores de sus propios procesos de aprendizaje y entornos (Kolb, 1984)

Resultado de estas evidencias soportadas en abundante investigación científica, se ha propuesto un número importante de visiones, marcos conceptuales, estrategias, alternativas y/o metodologías de enseñanza-aprendizaje: aprendizaje cooperativo, activo, significativo, por proyectos, por problemas, por laboratorios (hands-on), por indagación, para la comprensión y por competencias, entre muchos otros. Para el ingeniero esta situación se convierte en una torre de Babel.

Sin embargo, la misma ingeniería puede contribuir a buscar una parte de las respuestas como se puede inferir de Spitzer (1999). Sin duda la educación ha entrado a ser parte de objetivos de la ingeniería, no sólo para formar ingenieros:

“Antes los investigadores asumían que las operaciones mentales eran realizadas procesando reglas tras representaciones mentales fijas. En las últimas décadas, sin embargo, nuestra imagen sobre lo que es el pensamiento y lo que hace ha cambiado de una imagen estática basada en reglas a una dinámica basada en procesos. Cada vez es más

claro que las operaciones mentales biológicas son similares a las redes neuronales computacionales”

2. El problema a resolver

Al confrontar una aproximación clásica y típica en la enseñanza en ingeniería durante el siglo XX¹ con los principios enunciados en la sección anterior, aparecen limitaciones y contradicciones evidentes que a su vez dibujan un campo de oportunidades de mejoramiento en la formación de los ingenieros. Vale la pena mencionar una de las fundamentales: el desarrollo de competencias en ingeniería implica el desarrollo de habilidades y actitudes. En una estrategia basada en la transmisión de información, con un papel bastante pasivo del estudiante lo que se está promoviendo es el aprendizaje de memoria y superficial de esta información y de procedimientos específicos, sin que el estudiante comprenda (Stone, Boix et al. 1998). Sin embargo, la formación del ingeniero exige la consolidación de competencias complejas (ABET, 2005). Un número importante de artículos han mostrado las dificultades para cumplir con estos criterios desde una enseñanza tradicional (Felder and Brent, 2002). Por el otro lado, una avalancha de metodologías ya mencionadas en la introducción se encuentra al alcance. ¿Cómo seleccionar? ¿Con qué criterio? ¿Cuál podría ser un marco conceptual que facilite la selección de estrategias, el diseño de ambientes de aprendizaje apropiados para cumplir con las metas de aprendizaje que se han trazado?

Antes de continuar con un posible marco conceptual, uno de los propósitos de este ensayo, vale la pena insistir sobre la importancia en la definición de objetivos educacionales. Durante el siglo XX los objetivos educacionales se expresaron usualmente en término de contenidos, lo cual se refleja en los programas de los cursos, en muchas ocasiones con un parecido extraordinario con el índice del libro de texto escogido. Desde finales del siglo XX y en particular en estos primeros años del siglo XX la

¹ No se puede hablar de una sola aproximación a la enseñanza, pues cada profesor tiene una en particular, producto de su propia historia como estudiante y profesor y que evoluciona en permanencia. Sin embargo se pueden ensayar de describir una aproximación general que tiene características comunes de muchas de estas aproximaciones utilizadas tradicionalmente: Presentación del tema por parte del profesor (clase magistral), seguida en algunos casos de algunos ejemplos presentados por el profesor, o menos comúnmente de ejercicios de solución única realizados por los estudiantes (por ejemplo en monitorías), complementando eventualmente con laboratorios.

definición de metas de aprendizaje sufrió un cambio fundamental: de los contenidos a lo que se espera que el estudiante pueda hacer. Un examen de algunos trabajos no sólo propone estas nuevas metas, sino que presenta una justificación a ellas (Board of engineering Education, 1995; Besterfield-Sacre, Shuman et al. 2000; Felder and Brent, 2002; National Academy of Engineering, 2003; Felder and Brent, 2004; ABET, 2005; OEA, 2005; Vargas and Colmenares, 2006).

3. Aprendizaje por la experiencia e indagación

El marco conceptual propuesto en este trabajo es una síntesis de dos modelos. El primero propuesto por Kolb (1984) quien realizó una síntesis de trabajos de predecesores como John Dewey, Piaget, William James, Perkins, entre otros. El segundo, el propuesto para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales y la tecnología para los niveles primarios y secundarios de educación, denominado *indagación* (National Research Council, 2000; Saltier, 2006). La estructura se complementa con estrategias necesarias para generar meta cognición (National Research Council, 2000). La siguiente figura resume los dos modelos, así como la conexión existente entre ellos en un marco de meta cognición:

El primer modelo, de *aprendizaje por la experiencia*, propuesto por Kolb (1984), se encuentra en la parte interior (actividad, experiencia, reflexión, conceptualización) con procesos de construcción de conocimiento en las transiciones entre cada uno de estos elementos vía percepción, acción interna, entendimiento² y acción externa.

Un ejemplo puede ayudar a comprender los diferentes momentos y acciones. Un adolescente está aprendiendo a jugar billar. Cuando taca está claramente en un momento de actividad, en el cual existe una acción externa del joven. Esta acción externa le genera una experiencia la cual captura con sus sentidos (percepción). Estrictamente hablando utilizando fundamentalmente estos dos momentos

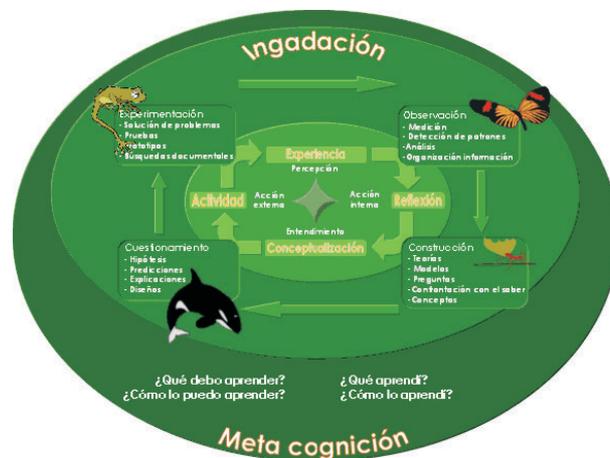


Figura 1: Aprendizaje por la experiencia, indagación y meta cognición

podría llegar a aprender a jugar pues su cerebro es capaz de identificar patrones exitosos que luego puede replicar. Sin embargo, esta forma de aprender puede limitar el nivel de maestría que logre y en particular la flexibilidad en la aplicación del conocimiento. Un mejor aprendiz adicionalmente observará y reflexionará en una acción interna sobre las tacadas que funcionaron bien, detectará patrones, encontrará regularidades, analizará la información. Esto le permitirá progresar más rápidamente, pues podrá aprender de forma consciente estrategias de juego apropiadas. Finalmente, un jugador avanzado no se contentará con seguir el ciclo actividad – experiencia – reflexión, sino que tratará de proponer teorías, modelos, que le permitan predecir el resultado de sus jugadas (conceptualización para el entendimiento). Ello no sólo le permitirá encontrar formas de jugar en ciertas configuraciones que no había tenido antes, sino que también le permitirá realizar actividades intencionales para confirmar sus predicciones, cerrando el ciclo integrando los cuatro momentos. Este aprendiz está utilizando todos sus sentidos y su mente en forma integrada.

Otra forma de pretender aprender a jugar billar podría caricaturizarse utilizando exclusivamente los momentos de experiencia – reflexión – conceptualización. Este caso correspondería al aprendiz que observa a otros jugar, reflexionando sobre lo que observa y tratando de construir algunos modelos y

² Viene de la palabra inglesa “comprehension”. Se traduce a menudo como “comprensión”. Sin embargo, en el campo de la educación la palabra “comprensión” corresponde mejor a la traducción de “understanding” en el sentido del proyecto ZERO de HARVARD.

algunas teorías sobre el particular. Este aprendizaje difícilmente logrará jugar billar. El desarrollo de una habilidad requiere de su ejercicio tanto si la habilidad es física y/o intelectual.

Un excelente ejemplo en la utilización de estos momentos es dado en National Research Council (2000: 59) en donde tres grupos de estudiantes aprenden sobre la memoria. Solamente a uno de los grupos se le motiva a utilizar todos los momentos. Los otros dos grupos solamente utilizan algunos de los momentos: una aproximación clásica con una clase de corte magistral y lectura en las cuales la actividad es muy limitada, la otra aproximación, basada exclusivamente en actividad en donde el momento de conceptualización es prácticamente inexistente, con momentos de reflexión muy limitados. Utilizando tiempos similares, el primer grupo que trabajó los cuatro momentos logra resultados en el aprendizaje, medidos en la capacidad que adquieren para predecir, casi 100% superiores. Lo dos grupos, el de la clase magistral y el de sólo actividad, logran resultados similares.

Kolb (1984:49) igualmente relaciona con los momentos de aprendizaje habilidades fundamentales del ser humano. Por ejemplo la utilización de palabras para dar nombre a las cosas, definirla, describirlas, contar, pensar en término de ideas encadenadas, racionamiento lógico, se encuentra en el entendimiento (hemisferio izquierdo). En contrapartida, la síntesis, el manejo espacial, la aproximación intuitiva, la visión holística, se desarrollan con mayor énfasis a través de la percepción (hemisferio derecho).

La aproximación propuesta por Kolb (1984) además de modelar un proceso de aprendizaje eficaz con base en 4 momentos, también pone en evidencia diferentes formas y estilos de aprendizaje, los cuales son ampliamente descritos en este trabajo (Kolb, 1984: 62):

“... sugiero que los procesos de aprendizaje no son idénticos para todos los seres humanos. Más bien, parece que las estructuras fisiológicas que gobiernan el aprendizaje permiten el surgimiento de un proceso único, individual y adaptivo que enfatiza sobre unas orientaciones en la adaptación sobre otras. Cuando el asunto es observado desde

una perspectiva evolucionista, aparecen buenas razones para esta variabilidad e individualidad en el proceso de aprendizaje de cada ser humano.”

En este trabajo también se sugieren cuatro estrategias de aprendizaje básicas representadas en:

- Percepción a Reflexión (observación del juego en billar del oponente y reflexión). Denominado aprendizaje *divergente*, a partir de la experiencia puede encontrar múltiples ideas. La lluvia de ideas en torno a la experiencia recibida es un ejemplo.
- Percepción a actividad (después de observar el efecto de una jugada realizar ajustes). En este modo se trabaja más sobre la identificación de patrones y la respuesta a los mismos, para lo cual el cerebro humano es particularmente exitoso (Spitzer, 1999). Denominado aprendizaje *adaptativo*, basado fundamentalmente en la actividad. Un niño aprendiendo a montar en bicicleta podría ser un buen ejemplo de esta estrategia de aprendizaje.
- Comprensión hacia la reflexión, una aproximación fundamentalmente basada en la abstracción y en la deducción. Denominado aprendizaje por *asimilación*. Las prácticas de enseñanza tradicionales fomentan esta aproximación que mantiene al estudiante fundamentalmente entre la reflexión y la conceptualización.
- Comprensión hacia la actividad (el jugador utiliza un modelo abstracto para inferir la acción que debe realizar). Denominado aprendizaje *convergente*. Es el que resuelve problemas con solución única.

En general, se presentan combinaciones más complejas que estas involucrando a menudo tres momentos, si bien alguno de ellos puede ser muy débil. Por ejemplo en el último, sin duda el jugador percibirá el resultado de su ensayo, pero posiblemente no realice una reflexión intencional que lo lleve eficazmente a modificar sus modelos. En General Kolb afirma que la combinación adecuada e intencional de los cuatro momentos lleva a modos superiores de aprendizaje, más efectivos (Kolb, 1984: 66).

En Kolb (1984: 88) se presenta un cuadro el cual se muestran las tendencias profesionales en relación con

los estilos de aprendizaje. Resulta interesante constatar que los ingenieros en general tienen la tendencia a ser convergentes estando de hecho muy cerca de los otros tres estilos de aprendizaje. Al examinar lo que hace un ingeniero en su práctica esta observación parece razonable. Sin embargo, en la educación de los ingenieros, al menos hasta hace muy poco, se han promovido otros estilos de aprendizaje, particularmente el de asimilación.

A partir de todas estas explicaciones pueden aparecer evidentes las grandes limitantes que tienen una enseñanza basada fundamentalmente en una clase magistral seguida de algunas actividades complementarias de carácter un poco más práctico pues sólo estimula ciertas modalidades y canales de aprendizaje. Además, el análisis presentado anteriormente alerta sobre una posible utilización inapropiada de estrategias de aprendizaje activo que se limitan a la realización de actividades sin fases de reflexión y conceptualización que llevan igualmente a aprendizajes superficiales (caso del aprendizaje adaptativo).

El segundo modelo, IBSE³, se presenta en el segundo nivel conformado por momentos de cuestionamiento, experimentación, observación y construcción de sentido con sus diferentes presentaciones, algunas de ellas explicitadas debajo de cada título.

La pedagogía de la investigación o enseñanza de la ciencia basada en la indagación parte de la observación de lo que un científico hace en su trabajo (National Research Council, 2000):

“Indagación científica se refiere a la diversidad de vías con las cuales científicos estudian el mundo natural y proponen explicaciones basadas en la evidencia que se deriva de su trabajo. Indagación también se refiere a las actividades de estudiantes en las cuales construyen conocimiento y comprensión de las ideas científicas, al

mismo tiempo que comprenden cómo los científicos estudian el mundo natural”.

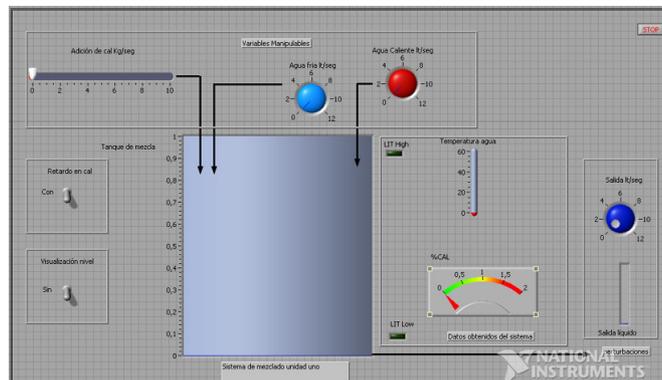
“Indagación es una actividad multifacética que involucra realizar observaciones, proponer preguntas, examinar libros y otras fuentes de información para saber que se conoce, planear investigaciones, revisar que se conoce a la luz de las evidencias, utilizar herramientas para recolectar, analizar e interpretar datos, proponer respuestas, explicaciones y predicciones, comunicar los resultados. La indagación implica identificar suposiciones, utilizar pensamiento crítico y lógico y considerar alternativas de explicación”

Este enfoque presenta varias virtudes. En primera instancia “modela” la construcción de conocimiento científico por los científicos e investigadores, generando de paso verdaderas competencias investigativas en quienes aprenden utilizando esta estrategia. Aquella frase de cajón de afirmar que en una universidad la existencia de investigadores fomenta habilidades de investigación en sus estudiantes, podría finalmente convertirse en una realidad, pues las habilidades de investigación no se transmiten por ósmosis, sino se construyen en su ejercicio.

En segunda instancia esta aproximación cumple plenamente con el modelo completo de aprendizaje por experiencias propuesto por Kolb, promoviendo simultáneamente los diferentes modos de aprendizaje y en consecuencia potenciando el aprendizaje. IBSE representa una aproximación reciente a la enseñanza-aprendizaje de la ciencia y la tecnología, mostrando resultados interesantes en niveles educativos de primaria y secundaria (Amaral, Garrison et al. 2002). Esta

estrategia se encuentra bien descrita en National Research Council (2000); Worth and EDC (2003); Saltier (2006).

Para comprender este segundo lazo modelo, se puede tomar un ejemplo de sistemas de control. A un grupo de estudiantes se les plantea la



³ Inquiry based science education, en español ECBI (enseñanza de las ciencias basada en indagación).

necesidad de neutralizar el pH del agua cruda en una planta de tratamiento de agua. Para ello se utilizará Cal. Los estudiantes están en una de las primeras sesiones de trabajo del curso de sistemas de control. Se les solicita definir una estrategia que permita mantener el pH cercano a 7. Adicionalmente, para esta actividad se les propone a los estudiantes un simulador en computador de esta planta con un botón que les permite aumentar o disminuir la cantidad de Cal suministrada y un indicador de pH.

Con base en este problema, con la conducción adecuada del profesor, el estudiante tendrá primero que plantear una estrategia a partir de lo que sabe (comprensión a la actividad - convergente), probar la estrategia (actividad hacia la experiencia), observar y reflexionar sobre lo que sucedió (de la experiencia hacia la reflexión - divergente), para terminar ensamblando nuevas teorías y estrategias de control, así como comenzar al comprender el sentido de la realimentación y de la dinámica del sistema (de la reflexión a la conceptualización – asimilación).

El siguiente diagrama muestra la ubicación de la pedagogía de la investigación a partir de un diagrama propuesto por Novak and Gowin (1999).

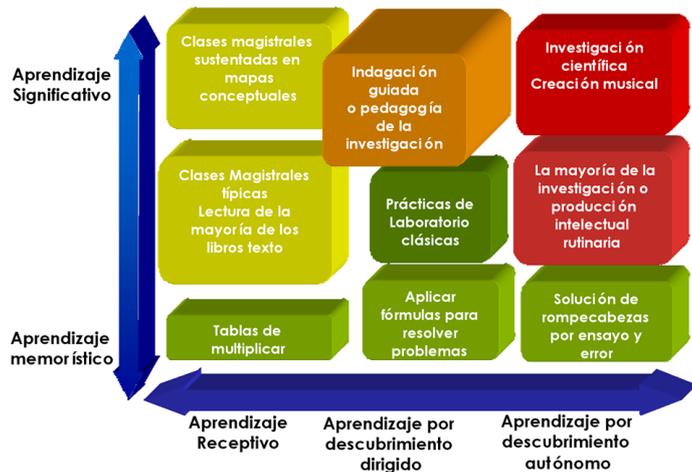


Figura 2: la pedagogía de la investigación en contexto

Esta aproximación por una pedagogía de la investigación ha comenzado a ser utilizada en la enseñanza de las matemáticas y de algunas otras disciplinas debido al éxito que hasta ahora ha mostrado en el campo de las ciencias naturales.

Finalmente, el modelo se complementa con actividades que promuevan explícitamente la meta cognición (National Research Council 2000), si bien los dos niveles anteriores parecerían estar promoviendo. Para ello es importante convertir al aprendiz en el controlador de su propio proceso de aprendizaje respondiendo a preguntas como las planteadas en el diagrama.

Este nivel se logra al promover la reflexión entre los estudiantes en torno a preguntas sobre qué hemos aprendido, cómo lo hemos hecho, qué ha funcionado y qué nos falta por aprender.

4. Formación por competencias: por donde comenzar

En general una competencia: “hace referencia a un conjunto de conocimientos, habilidades, actitudes, comprensiones y disposiciones cognitivas, meta-cognitivas, socio-afectivas y psicomotoras apropiadamente relacionadas entre si para facilitar el desempeño flexible, eficaz y con sentido de una actividad o de cierto tipo de tareas en contextos relativamente nuevos y retadores”. (Vasco, 2003).

Sin embargo, esta definición no es fácil de utilizar. Una aproximación más cercana a la ingeniería es la propuesta por ABET.

Este organismo (ABET, 2005) claramente propone una enseñanza de la ingeniería orientada a desarrollar competencias, si bien ABET prefiere abordar el tema desde la “capacidad para hacer”. Lo importante no es lo que saben los ingenieros, sino lo que pueden hacer. Entre los propósitos centrales de la ingeniería está la solución de problemas utilizando el conocimiento y los procesos de pensamiento científicos y tecnológicos, teniendo en cuenta restricciones y especificaciones bien diversas (humanas, económicas, ambientales, estéticas, entre otras).

Brevemente y en forma simplificada una competencia puede referirse a actividades que el ingeniero debe poder hacer haciendo uso de información, habilidades, actitudes y herramientas necesarias en su cumplimiento en contextos propios del ejercicio profesional. Una meta educacional basada en

competencias entonces se refiere a desempeños⁴ deseables y observables. En este sentido la taxonomía dada por Bloom⁵ da indicaciones de 6 niveles (recordar, entender⁶, aplicar, analizar, sintetizar, evaluar). En particular la ingeniería se interesa en los tres niveles superiores: análisis, síntesis y evaluación. Algunos autores han ampliado esta taxonomía agregando al menos una componente en la dimensión de las actitudes.

Bajo esta perspectiva es necesario definir los objetivos educacionales en un formato de desempeños esperados, en lugar de la clásica lista de temas con gran parecido al índice de un libro que poco aportan en definir las estrategias de enseñanza ni de evaluación necesarias.

5. La evaluación: ingrediente indispensable e integral en el aprendizaje

“La evaluación es un término que designa toda actividad en la cual son recolectados indicadores del aprendizaje de forma planificada y sistemática a fin de valorar el aprendizaje” (Assessment Reform Group 2002).

La evaluación es fundamental en los procesos de aprendizaje y su impacto se encuentra bastante estudiado (Black and Wiliam 2001; Assessment Reform Group 2002). La evaluación puede responder a diferentes objetivos y se puede clasificar de diferentes formas según estos. Una taxonomía interesante es la que distingue la evaluación del aprendizaje (evaluación sumativa) y la evaluación para el aprendizaje (diagnóstica, formativa) (Furtak 2005). Igualmente se sabe que la evaluación bien realizada puede potenciar el aprendizaje, pero qué evaluaciones mal desarrolladas lo entorpecen y lo desvían (Hein and Price 1994; Assessment Reform Group 2002). Las prácticas clásicas de evaluación en ingeniería desafortunadamente entran generalmente den-

tro de esta segunda categoría, a menudo fundamentalmente sumativas, desmotivando y promoviendo el aprendizaje memorístico y superficial.

Una evaluación formativa (o para el aprendizaje) debe constituirse en parte integral de la práctica en la educación en ingeniería, reduciendo los momentos de evaluación sumativa a los mínimos y que sean estrictamente necesarios.

Sin duda, este es uno de los aspectos en los que más trabajo tendrá que realizarse en los procesos de cambio de las prácticas pedagógicas, pues no solo se trata de cambiar los ambientes de aprendizaje, sino también como se evalúa y realimenta oportunamente a los estudiantes.

6. Sistemas de control: un ejemplo esclarecedor

Con el marco conceptual antes descrito, a continuación se presentan brevemente algunos elementos del curso *Sistemas de Control* dictado por el autor en la Universidad de los Andes para estudiantes de pregrado de ingeniería eléctrica, electrónica, mecánica y química.

El objetivo educacional central del curso se presenta en la figura 2. Este objetivo a su vez se desdobra en objetivos de segundo nivel, los cuales a su vez deben desdoblarse en objetivos realizables en las sesiones de trabajo. Vale la pena observar que estos objetivos se expresan en términos de acciones concretas. Los contenidos tradicionales se encuentran implícitos en estas acciones.

Los objetivos educacionales se complementan con un listado de conceptos, propiedades y herramientas que el estudiante deberá comprender⁷. En particular los conceptos y propiedades se estructuran utilizando un mapa conceptual⁸ el cual permite encontrar

⁴ Desempeño es una actividad realizable y observable a partir de la cual se puede inferir sobre la comprensión que quien la ejecuta tiene sobre los conocimientos y habilidades relacionados (Stone, M., V. Boix, et al. (1998). *Teaching for understanding: linking research with practice*, Jossey-bass publishers).

⁵ Abundante información puede encontrarse en Internet utilizando las palabras “boom taxonomy”

⁶ En el sentido de explicar, relacionar, distinguir, ...

⁷ Comprender significa poder utilizar flexiblemente el conocimiento en la solución de problemas.

⁸ Por razones de espacio el mapa conceptual propuesto como marco de diseño del curso no se incluye.

caminos para la estructuración del curso mismo y el encadenamiento de los problemas y temáticas a tratar. De hecho a los estudiantes se les propone ir construyendo su propio mapa conceptual como mecanismo de reflexión (Novak and Gowin, 1999).

Definición de objetivos educacionales por competencias

Objetivo General
 Dada una planta de una entrada y una salida cuya dinámica se pueda aproximar a un sistema dinámico lineal de orden reducido, el estudiante podrá modelarla, analizarla, simularla, definir una estrategia de control apropiado para ella respondiendo a las especificaciones dadas, realizar el diseño, validarlo en simulación y probarlo sobre la planta.

Objetivos Específicos

- **Modelamiento e identificación de procesos:** el estudiante podrá, a partir de un proceso real de comportamiento aproximadamente lineal, de bajo orden, invariante en el tiempo, SISO, encontrar un modelo, identificarlo y validarlo. Este modelo lo podrá expresar en ecuación diferencial, función de transferencia y representación de estado.
- **Sintonización de PID utilizando reglas empíricas y método algebraico:** el estudiante podrá utilizar al menos tres reglas empíricas de sintonización de reguladores así como ajustar por el método algebraico un regulador.

Figura 3: Objetivos educacionales en un formato de competencias

Estructuración por unidades

El doble ciclo del modelo propuesto en este artículo (sección 4) implica recorrer un conjunto de momentos (cuestionamiento, experimentación, observación y construcción / actividad, experiencia, reflexión y conceptualización) en el desarrollo de las actividades de aprendizaje. En un enfoque de clase magistral resulta muy difícil lograr efectivamente estos momentos. Para ello trabajar por

problemas o proyectos de interés para el estudiante puede ser una opción interesante. Por esta razón el curso se estructura en torno a unidades, cada una de ellas girando en torno a una problemática particular. La primera, quinta y décima unidad tienen además un propósito evaluativo (diagnóstico, progreso y resultados finales respectivamente). El progreso a lo largo de las unidades sigue una progresión en espiral en contraposición a la progresión lineal de cursos tradicionales.

Situación problemática: Modelamiento de un sistema constituido por un reservorio con una entrada de líquido controlada por una válvula y una salida libre con caudal relacionado con la cabeza de presión.	Sesión uno	Profesor: Guía la discusión sobre el problema, ayuda a consolidar un protocolo de trabajo. Estudiantes: Leen la guía y el material de la unidad. Buscan el material para construir el proceso y discuten sobre el problema planteado y sobre cómo realizar el modelamiento.
	Sesión dos	Profesor: Ayuda a resolver las dudas sobre el modelamiento que se está realizando. Presenta la respuesta típica de primer orden y las componentes del regulador P y PI. Estudiantes: Elaboran el modelo y lo calibran experimentalmente. Lo validan utilizando simulink. Presentan brevemente sus resultados y sus inquietudes.
	Sesión tres	Profesor: Guía las presentaciones, orienta la fase de conceptualización y construcción de sentido. Estudiantes: Cuatro grupos seleccionados al azar presentan el modelamiento realizado, discuten sobre las opciones tomadas.
Conceptos: Sistema estático y dinámico, - Entradas, salidas, - Respuesta escalón, - Realimentación, - Ganancia estática, -Tiempo de respuesta, -Linealidad. Herramientas y procedimientos: Simulink, Linealización, Reguladores P y PI, Sintonización. Competencia: Modelar un proceso real no lineal y validación del modelo, sintonización de reguladores P y PI por métodos empíricos.		

Figura 4: Ejemplo de estructuración de una unidad



A su vez, los problemas propuestos en las diferentes unidades pueden tener un enfoque por simulación o sobre un proceso real. En este último caso se ha optado por plantas (procesos) que el mismo estudiante puede construir, lo cual a su vez desarrolla habilidades fundamentales en un ingeniero.

Desde el punto de vista aprendizaje, la separación entre teoría y práctica no tiene ningún sentido. Se trata más de una separación artificial para explicar las estrategias de trabajo actuales.

Cada unidad se descompone en sesiones de trabajo (1 a 5) a través de las cuales se responde a la pregunta central de la unidad mientras se consolidan habilidades y conceptos necesarios para el desarrollo de competencias buscadas. En el marco de las actividades propuestas se incluyen las evaluaciones de carácter formativo. La figura 3 presenta la unidad dos, pudiéndose observar los conceptos y herramientas tratados, la progresión propuesta, así como la actividad de evaluación. En esta unidad los estudiantes construyen y modelan un proceso dinámico no lineal que puede ser representado por un sistema lineal de primer orden.



La evaluación:

Se encuentra integrada al curso con un número importante de actividades de evaluación formativa (presentaciones, póster, discusiones, pruebas, validaciones) y un par de momentos de evaluación sumativa en la unidad 5 y 10 a través de la solución individual de un problema por parte de cada estudiante complementado con un examen de corte conceptual.

El laboratorio:

En esta estrategia la opción más adecuada es integrar el laboratorio al curso rompiendo la separación que tradicionalmente se fomenta: la clase de teoría (más bien magistral) seguida de prácticas que le permitan al estudiante verificar dicha teoría.

8. Conclusiones y perspectivas

Un nuevo marco conceptual para el desarrollo de cursos fue presentado como resultado de la síntesis de la propuesta de KOLB y la estrategia IBSE. Este modelo puede integrar de forma natural diferentes estrategias como PBL.

Se presentaron algunos elementos de un curso diseñado utilizando este marco conceptual. En particular este diseño incorpora las estrategias de evaluación así como las actividades prácticas como parte integral del curso.

Si bien, este diseño es coherente con lo que se sabe sobre el aprendizaje humano, serán necesarias evaluaciones de la estrategia para mejorar el marco

conceptual y validar las ventajas que parecería ofrecer. Por otra parte, se requerirán trabajos de investigación en didáctica de la ingeniería.

Trabajos en torno al diseño de estrategias de evaluación para el aprendizaje y del aprendizaje deberán realizarse en los años siguientes, pues sin

estrategias adecuadas de evaluación, los cambios necesarios en las prácticas docentes podrían perder frente a estrategias clásicas, las cuales cuentan con métodos de evaluación apropiados en el contexto de su propio paradigma, aunque dicho paradigma sea contrario a las evidencias científicas sobre el aprendizaje humano.

Referencias

- ABET (2005). Criteria for accrediting engineering programs.
- AMARAL, O. M., L. GARRISON, et al. (2002). «Helping English Learners Increase Achievement Through Inquiry-Based Science Instruction.» *Bilingual Research Journal on line* 26(2): 213-239.
- Assessment Reform Group (2002). Assessment Beyond the black box, Assessment reform Group.
- Assessment Reform Group (2002). Assessment for learning: 10 principles; research-based principles to guide classroom practice, Assessment Reform Group.
- BESTERFIELD-Sacre, M., L. SHUMAN, et al. (2000). «Defining the outcomes: a framework for EC-2000.» *IEEE Transactions on education* 43(2): 100-110.
- BLACK, P. and WILLIAM, D. (2001). Inside the black box: 14.
- Board of Engineering Education, NRC (1995). *Engineering education: design an Adaptive System*, NAP.
- FELDER, R. and R. BRENT (2002). Designing and teaching courses to satisfy engineering criteria 2000, Southeastern university and college coalition for engineering education.
- FELDER, R. and R. BRENT (2004). *The ABC'S of engineering educational: abet, boom's taxonomy, cooperative learning, and so on*. American Society for Engineering Education annual conference & Exposition, Salt Lake, Utah, USA.
- FURTAK, E. M. (2005). Formative Assessment in K-8 Science Education: A Conceptual Review, Center for Education at the National Research Council - National Academies of sciences
- HARLEN, W. (2004). A systematic review of the evidence of the impact on students, teachers and the curriculum of the process of using assessment by teachers for summative purposes. U. o. L. Institute of Education, EPPI.
- HEIN, G. and S. PRICE (1994). *Active assessment for active science: a guide for elementary school teachers*. Portsmouth, Heinemann.
- HERNÁNDEZ, J. T., B. CAICEDO, et al. (2004). *Formar ingenieros: un asunto de tradición o de ciencia*. XXIV Reunión Nacional de Facultades de Ingeniería: El futuro de la formación en ingeniería, septiembre 22 a 24, Cartagena, Colombia.
- KOLB, D. (1984). *Experiencial learning: experience as The Source of Learning and Development*. New Jersey, Prentice Hall.
- LACHIVER, G. and J. TARDIF (2002). *FOSTERING AND MANAGING CURRICULUM CHANGE AND INNOVATION*. 32nd ASEE/IEEE Frontiers in education 2002, Boston.
- National Academy of Engineering, NRC (2003). *The engineering 2020: vision of engineering in the new century*, NAP.
- National Research Council, NAP (2000). *How people learn: Brain, Mind, Experience, and school*, National Academy Press.
- National Research Council, NAP, Ed. (2000). *Inquiry and the national science standards: a guide for teaching and learning*, National Academies Press, National academies.
- National Research Council, N., Ed. (2000). *Inquiry and the national science education standards: a guide for teaching and learning*, National Academies Press, National academies.
- NOVAK, J. and B. GOWIN (1999). *Aprendiendo a aprender*, Ediciones Martinez Roca.
- OEA (2005). *Ciencia, Tecnología, Ingeniería e Innovación para el Desarrollo: Una Visión para las Américas en el Siglo XXI*. Washington, OEA.
- SALTIER, E. (2006). Methodological guide; Pollen Project. *Inquiry-Based Science Education: Applying it in the Classroom*. España, PAU Education.
- SPITZER, M. (1999). *The mind within the net: models of learning, thinking, and acting*, Massachusetts Institute of technology.
- STONE, M., V. BOIX, et al. (1998). *Teaching for understanding: linking research with practice*, Jossey-bass publishers.

VARGAS, F. and COLMENARES, J. E. (2006). Aprendizaje activo en ingeniería: metodologías, resultados y propuestas de implementación. Retos en la formación del ingeniero para el año 2020, XXVI Reunión Nacional de Facultades de Ingeniería, Cartagena, ACOFI.

VASCO, Carlos Eduardo (2003). Introducción a los estándares básicos de calidad para la educación. MEN – ASCOFADE (documento de trabajo)
 WORTH, K. and EDC (2003). The sens. Boston, Kendall Hunt.

Sobre el autor

Mauricio Duque Escobar

Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica.
 Cra 1 N 18A-06 Bogotá, Colombia, Teléfono (1) 3394949
 Fax (1) 3324053 maduque@uniandes.edu.co

Formación Académica: Ingeniero eléctrico, Universidad de los Andes. Magíster en ingeniería eléctrica, Universidad de los Andes. D.E.A. en automática y tratamiento de señales, I.N.P.G. Grenoble, Francia. Dr del INPG – LAG en control automático y tratamiento de señales, Grenoble, Francia.

Responsabilidades actuales: Profesor asociado, Departamento de ingeniería eléctrica y electrónica, Facultad de ingeniería, Universidad de los Andes. Secretario Ejecutivo nacional del programa Pequeños Científicos. Investigador del grupo LIDIE (Laboratorio de investigación en informática y educación).

Investigador del grupo GIAP (Grupo de investigación en automatización para la producción). Asesor del Ministerio de Educación en educación para la alfabetización en ciencia y tecnología. Miembro del Comité Académico ICEE (Internacional conference on engineering education). Miembro del Comité Académico ALE (Active learning in engineering education). Miembro del comité internacional para apoyo a programas de ciencias basados en indagación – IAP (Interacademy panel).

Áreas de investigación: Educación en ingeniería, Didáctica del control automático, Control de procesos continuos, en particular tratamiento de aguas, Didáctica de la ciencia y la tecnología.

Premios y distinciones: Premio a la alfabetización científica de los niños del planeta, Francia, 2005.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.