

TRES ESFERAS DE ACCIÓN DEL PENSAMIENTO CRÍTICO EN INGENIERÍA

Andrés Mejía D.

Departamento de Ingeniería Industrial y Centro de Investigación y Formación en Educación
Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia

Resumen

Desde hace algún tiempo se ha renovado el interés por la promoción de pensamiento crítico en la educación en ingeniería. Sin embargo, este interés ha sido en su mayor parte instrumental, en cuanto a que principalmente se ha preocupado por el desarrollo de ingenieros que puedan adecuar conocimientos técnicos a los contextos de aplicación, desconociendo hasta cierto punto algunos aspectos centrales de la dimensión social, como son lo político y lo cultural. Entendiendo a la ingeniería como operando en la intersección de las dimensiones técnica y social, se pueden definir tres esferas de acción en cualquier aplicación, en las cuales el pensamiento crítico adquiere un significado concreto y particular y debe ser promovido. Este esquema se ilustra con un ejemplo de un curso de ingeniería industrial basado en una herramienta de simulación.

Palabras clave: pensamiento crítico, ingeniería crítica, esferas de acción, educación de la ingeniería

Introducción: Algunas limitaciones de la concepción actual del pensamiento crítico en ingeniería

Hay algunos eventos que nos permiten pensar que desde hace algún tiempo se ha activado de forma importante el interés por el desarrollo de pensamiento crítico en los estudiantes y en los practicantes de la ingeniería. Por ejemplo, dentro de los criterios de acreditación de programas utilizados por la Junta de Acreditación para Ingeniería y Tecnología en Estados Unidos (ABET por sus iniciales en inglés) el pensamiento crítico aparece como uno de ellos, al que se le ha dado un especial énfasis recientemente (ABET, 2003). Por su parte Richard Paul, un reconocido autor del movimiento de pensamiento crítico, ha publicado un texto –aunque breve– sobre el pensamiento crítico en ingeniería (Paul, Niewoehner y Elder, 2006). Adicionalmente en la literatura se comienzan a encontrar cada vez más algunos esfuerzos por enmarcar este campo de interés (p.e. Mejía y Zarama, 2004), o por llevar a la práctica e investigar estrategias de promoción de este tipo de pensamiento (p.e. Sánchez, 1995; Dawood y Dericha, 1999; Beder, 2000; Nelson, 2001; Siller, 2001; Gunnink and Sanford Bernhardt, 2002; Fellows et al., 2004; Cascante, 2007). Al mismo tiempo, sin embargo, en ingenieros practicantes, en profesores de facultades de ingeniería, y en estudiantes de programas de ingeniería, todavía es común encontrar resistencia a esta idea del pensamiento crítico por considerarla algo inútil al asignársela exclusivamente a las ciencias sociales, a las ciencias especulativas, o a las ciencias “de opinión”. Esto implica posiblemente que los proyectos de promoción de pensamiento crítico en ingeniería hoy en día pueden contar con un razonable apoyo e interés de parte de profesores y directivos, aunque la resistencia hace que también siga siendo necesario poner en marcha más de un proceso de seducción, así como librar más de una batalla.

Una revisión de esta literatura muestra que en general estos esfuerzos han tendido a concentrarse en una concepción particular de lo que es pensamiento crítico, y por ende de lo que es un ingeniero crítico. Esta versión se puede identificar con una corriente algo más amplia llamada el "Movimiento de Pensamiento Crítico" (Siegel, 1988; Paul, 1993; Ennis, 1995; Fisher, 2001). Una definición comúnmente aceptada dentro de esta corriente para pensamiento crítico consiste en ser "un pensamiento razonable y reflexivo que se enfoca en decidir qué creer o cómo actuar" (Norris y Ennis, 1989, p.1, traducción mía), y se operacionaliza en términos de *habilidades* y *disposiciones* transversales. A manera de ilustración, algunas de estas habilidades son enfocarse en una pregunta, analizar argumentos, juzgar la credibilidad de una fuente, juzgar inducciones, juzgar deducciones, e identificar supuestos. Notemos que la formulación de estas habilidades proviene fundamentalmente de teorías de la argumentación, principalmente a partir de la lógica informal. Algunas de las disposiciones relacionadas son buscar razones, tener en cuenta toda la situación, ser de mente abierta, y buscar precisión (Norris y Ennis, 1989, pp.12 y 14). Todas estas habilidades y disposiciones serían aplicables en cualquier contexto así como en cualquier disciplina del conocimiento, lo cual puede en cierta medida considerarse como una fortaleza: Si un estudiante las adquiere, independientemente del contexto o la disciplina en las cuales las desarrolló, entonces podrá ser crítico en cualquier otro contexto o disciplina. Esta concepción ha llevado a algunas universidades, entre otras cosas, a establecer cursos sobre pensamiento crítico como la estrategia adoptada para promover este tipo de pensamiento en sus estudiantes.

Este asunto no ha dejado de ser, no obstante, una fuente de polémica. Autores como McPeck (1994) han sugerido que cada disciplina de conocimiento tiene su propia lógica y su propia epistemología, y que por lo tanto las habilidades y disposiciones de pensamiento crítico adquiridas en una de ellas no serán necesariamente extrapoladas a otras. Adicionalmente, en trabajos anteriores yo he argumentado que existen barreras insalvables tanto a nivel de conocimiento como a nivel emocional, las cuales tienen como implicación que el pensamiento crítico no pueda ser una característica general de una persona, y que sea mejor entenderlo como una característica de una persona, en un contexto, y acerca de algunos aspectos particulares del conocimiento (Mejía, 2001 y 2005). Esta dependencia del tipo de conocimiento, y por lo tanto de la disciplina, hace que sea pertinente revisar qué es lo particular de la ingeniería, que nos permita entender con detalle en qué consiste ser un ingeniero crítico, y de ahí también diseñar y evaluar la promoción de pensamiento crítico en la educación de la ingeniería.

En el siguiente capítulo examinaré la disciplina de la ingeniería como una actividad que utiliza unas herramientas. Esto me permitirá enunciar tres esferas de acción acerca de las cuales podría y debería producirse desarrollo de pensamiento crítico. Argumentaré adicionalmente que los enfoques actuales de pensamiento crítico en ingeniería corren el peligro de cubrir solamente uno de ellos, o como máximo dos. En los capítulos siguientes profundizaré e ilustraré el pensamiento crítico en cada una de estas esferas, para luego presentar, a modo de ejemplo, cómo han sido trabajadas en un curso de ingeniería industrial llamado "Dinámica de Sistemas".

1. Lo particular del pensamiento crítico en ingeniería

El modo en el que se manifiesta el pensamiento crítico en la ingeniería depende, por supuesto, de cómo la concebimos. El Consejo de Ingenieros para el Desarrollo Profesional (ECPD por sus

iniciales en inglés), en Estados Unidos, definió ingeniería como “la aplicación creativa de principios científicos para diseñar o desarrollar estructuras, máquinas, aparatos, procesos de manufactura, o trabajos, utilizándolos individualmente o en combinación; o para construir u operar los mismos con conocimiento pleno de su diseño; o para predecir su comportamiento bajo condiciones específicas de funcionamiento; todo esto en cuanto a su función pretendida, la economía de la operación y la seguridad para la vida y la propiedad” (ECPD, 1941, p.456, traducción mía). De esta definición quisiera resaltar que aparece como elemento central de lo que es la ingeniería, su asociación con la ciencia –que aquí se entiende como las ciencias naturales–. Más recientemente, esta misma organización (ahora renombrada como ABET) ha reformulado su definición de la siguiente manera: “Ingeniería es la profesión en la cual el conocimiento de las ciencias naturales y matemáticas, obtenido mediante el estudio, la experiencia y la práctica, es aplicado junto con el juicio para desarrollar formas de utilizar, de forma económica, los materiales y las fuerzas de la naturaleza para el beneficio de la humanidad” (ABET, 1994, p.61, traducción mía). Como se puede ver, la asociación con las ciencias naturales permanece en esta definición, pero se le ha agregado también una nueva con las matemáticas. Esta doble asociación vista como un elemento central para la definición de la ingeniería no es rara; más aún, podríamos decir que es generalizada (p.e. University of Utah College of Engineering, s.f.). En la educación de la ingeniería, esto se manifiesta de múltiples maneras, de las cuales la más visible es posiblemente la presencia extensiva en los currículos de cursos tanto básicos como especializados sobre diferentes ramas de las matemáticas, la física, la química, y en menor grado la biología.

Por otro lado, como lo mencionan las definiciones enunciadas al comienzo de este capítulo, la aplicación de ciencias naturales y matemáticas de la ingeniería se realiza para tener un impacto en las personas, las sociedades, e incluso la humanidad. Esto implica que la disciplina de la ingeniería, efectivamente, y a diferencia de lo que podría ser una aproximación purista de las ciencias naturales, se centra en la *intervención de sistemas sociales*. Esta implicación se oscurece y por lo tanto puede pasar desapercibida por el hecho de que las definiciones de ingeniería en general ponen énfasis en su relación con las ciencias naturales. La referencia a su impacto en la sociedad es una declaración de propósitos últimos, pero por esa misma razón corre el riesgo de ser tomada –como creo que efectivamente en muchos casos lo es– como una formalidad que es necesario que aparezca en cualquier declaración como ésta, pero a la que no se le presta mayor atención. Hay razones para suponer que este riesgo es real, y una manifestación de esto se puede encontrar, en una gran cantidad de programas académicos, en la ausencia de contenidos y objetivos educativos relacionados con los sistemas sociales, o en muchos casos en la presencia de dichos contenidos pero sin ninguna articulación con los contenidos y objetivos considerados “reales” de ingeniería.

Entendiendo a la ingeniería en términos de la aplicación de herramientas en un sentido amplio (como lo explicaré en el capítulo siguiente), que tienen su origen en gran parte en las ciencias naturales y en las matemáticas, en lo que sigue presentaré y explicaré tres esferas de acción del pensamiento crítico, con relación a las herramientas de la ingeniería. Con ello pretendo mostrar qué de particular tiene la ingeniería, que hace que debamos especializar nuestros objetivos y estrategias con respecto a la promoción de pensamiento crítico. Las dos primeras esferas de acción están basadas en las herramientas en sí mismas, y por lo tanto más cercanamente en las ciencias naturales y en las matemáticas. La tercera interrelaciona el conocimiento de lo natural y de lo matemático, con el conocimiento de lo social. Estas esferas corresponden a 1) el uso

inteligente de las herramientas de la ingeniería, 2) la contrastación entre diferentes herramientas de la ingeniería, y 3) el entendimiento de los proyectos de ingeniería como intervenciones en sistemas sociales.

2. Primera esfera: Aprendiendo a utilizar inteligentemente herramientas de ingeniería

Dado que el objeto de la ingeniería no es el conocimiento como conocimiento puro, se puede decir que ella utiliza diversas las ramas de las ciencias naturales y de las matemáticas *como herramientas*. Las teorías de la mecánica de sólidos, de la termodinámica, de la biología molecular, de la estadística, de la optimización, etc., son fundamentalmente utilizadas para responder preguntas de tipo “¿qué pasaría si...?” Mediante estas preguntas, se intenta anticipar cuáles serán los posibles efectos de la implementación de diseños de ingeniería. Tanto la formulación de estas preguntas, como la construcción de respuestas a ellas, se nutren en gran parte, aunque no exclusivamente, de dichas teorías. Es en este sentido que hablamos del conocimiento científico y matemático como herramienta.

Ahora, como lo menciona la definición de ABET, este uso de herramientas no es solamente el resultado de procesos sistemáticos, como podría ser el seguimiento de algoritmos, sino que debe utilizar el juicio informado. Por esta razón, posiblemente, algunos sugieren que la ingeniería es a la vez una ciencia y un arte (ver, por ejemplo, University of Utah College of Engineering, s.f.). Este punto es importante, por cuanto es contrario a una idea común de que la ingeniería, por estar basada en las así-llamadas ciencias exactas, no está sujeta a opiniones ni al uso del juicio, y por lo tanto ni su aprendizaje ni su práctica son susceptibles de ser objeto de pensamiento crítico. No me detendré a argumentar en contra de esta idea, limitándome a sugerir que las tareas de diseño que son tan propias de la ingeniería requieren de creatividad, de manejo de incertidumbre, y por lo tanto de consideración de alternativas sin ayuda de algoritmos de solución comprensivos que puedan evitar al ingeniero tener que juzgar por sí mismo. Partiendo de la base de que la ingeniería sí requiere del juicio, es entonces importante distinguir entre los usos de sus herramientas que son más y los que son menos inteligentes y reflexivos. Y sobre estas formas de uso aparece inicialmente una primera esfera de acción del pensamiento crítico en ingeniería: la aplicación inteligente de una herramienta. Un ingeniero crítico en este sentido puede usar una herramienta apropiadamente, contrastando sus supuestos técnicos – supuestos sobre los cuales se basan deducciones teóricas de la herramienta– con las características de la situación o del problema en el que la va a utilizar, y eligiendo o adaptando las herramientas a la situación problema que esté enfrentando. Un ingeniero industrial que utiliza estadística en control de la calidad en procesos de manufactura, podría, por ejemplo, tener que decidir cómo formular hipótesis nulas y alternas pertinentes, o cómo tomar muestras de productos de forma apropiada, dependiendo de los procesos y productos involucrados. Y para ello debe utilizar su juicio, de un modo consistente con la definición de Ennis de pensamiento crítico mencionada arriba: razonable y reflexivamente.

3. Segunda esfera: Contrastando diferentes herramientas de ingeniería

Notemos que la primera esfera de acción del pensamiento crítico está limitada por las herramientas en sí mismas. Es decir, mientras que en ella se propende por un uso inteligente de

las herramientas, al mismo tiempo parte de un presupuesto sobre la pertinencia y sobre lo apropiado de la herramienta, sin preguntarse por los supuestos, limitaciones y fortalezas de la misma. De esta observación se desprende una segunda esfera de acción para el pensamiento crítico en la ingeniería, en la cual una herramienta de ingeniería se puede ver de manera más integral en contraste con otras herramientas alternativas. Si la primera esfera permite la reflexión enmarcada en una herramienta, la segunda se sale de ese marco para considerar la pertinencia y lo apropiado de la herramienta misma en comparación con otras herramientas. De todos modos es importante aclarar que la distinción entre estas dos esferas, aunque útil, no es una tajante, y en muchos casos la segunda puede verse como una simple extensión de la primera. La delimitación misma de "herramienta" se puede hacer de múltiples maneras, de tal forma que en cualquier caso particular puede ser discutible si se ha pasado de la primera a la segunda esfera, o si se permanece en la primera. Por ejemplo, un tipo de modelo estadístico (p.e. la regresión lineal multivariada) puede considerarse como una herramienta diferente de otro tipo modelo estadístico (p.e. un análisis discriminante) para enfrentar una misma situación problema. Pero al mismo tiempo las herramientas basadas en simulación a partir de la dilucidación de mecanismos causales (p.e. en la dinámica de sistemas) pueden considerarse como una herramienta alternativa frente a la estadística y a la econometría. De esta manera, una ingeniería crítica reconocería posibilidades y limitaciones técnicas de los diferentes modelos estadísticos, así como de la estadística como una herramienta en un nivel más general, contrastándola con otras alternativas. La importancia de hacer esta distinción no se basa en su unicidad como criterio de clasificación, ya que ni siquiera es único, sino más bien en su poder heurístico para ayudarnos a reconocer la posibilidad de quedarnos *atrapados* en una herramienta.

Aunque la siguiente afirmación posiblemente requiere de investigación para poder enunciarla con certeza, se podría decir que en gran parte los enfoques de pensamiento crítico más usados actualmente en la educación en ingeniería, promueven exclusivamente pensamiento crítico en la primera o como máximo en las dos esferas de acción que acabo de formular. En parte, esto puede estar relacionado con el hecho de que los enfoques dominantes de pensamiento crítico toman como objeto de estudio argumentos o posiciones, y, de esta manera, se han concentrado principalmente en estudiar *lo que se dice* explícitamente, descuidando *lo que no se dice* (Duhan Kaplan, 1994). Y lo que se dice explícitamente en un salón de clases en ingeniería usualmente tiene que ver con las herramientas que se aprenden, en sí mismas, como teorías (provenientes de las ciencias naturales y de las matemáticas). Pero lo que no se dice en ingeniería puede ser igual o más importante, ya que, como lo explicaré a continuación, es lo nos lleva a entender las concepciones e ideologías que se encuentran detrás de cualquier diseño o aplicación, y que conforman sus supuestos, implicaciones y límites con respecto a los sistemas sociales sobre los cuales se interviene. Y es aquí, en una dimensión fundamentalmente social, donde aparece una tercera esfera de acción para el pensamiento crítico de la ingeniería.

4. Tercera esfera: Entendiendo los proyectos de ingeniería como intervenciones en sistemas sociales

Un punto de partida es el reconocimiento de que las dos primeras esferas conciernen principalmente una dimensión instrumental. Es decir, en estas dos primeras esferas la función principal de la ingeniería se entiende como la de decidir cuáles medios son mejores para cumplir con algún fin determinado, e implementarlos. El problema de adoptar una aproximación

puramente estratégica consiste en que se corre el riesgo de caer en lo que se podría caracterizar como un *sentido mercenario* de la ingeniería; es decir, aquél desde el cual los ingenieros utilizan inteligentemente – o tal vez astutamente – su juicio para tomar las mejores decisiones de diseño de sistemas para lograr un fin que es contratado por el mejor postor, y sin preguntarse por el fin en sí mismo. El fin podría ser definido por otros, que tienen el poder para contratar sus servicios. Esto no significa que la implementación de los enfoques actuales más en boga de pensamiento crítico en ingeniería necesariamente vaya a producir este tipo de egresados; más bien significa que estos enfoques no se constituyen en un antídoto para que esto ocurra porque su noción de pensamiento crítico es algo limitada en este sentido. (Ver, en un contexto más general de educación, las discusiones de Duhan Kaplan, 1994, y Giroux, 1994. También ver la discusión sobre diseños de sistemas sociales de Ulrich, 1983 y 2000).

El problema de que los egresados de ingeniería adopten un sentido mercenario se ha enfrentado desde el punto de vista de la ética, especialmente en algunos casos a partir del desarrollo de cursos en los cuales se trabajan algunos problemas y códigos éticos del ingeniero. El problema de los fines y los medios en ingeniería es un problema ético, por supuesto, pero formularlo de esta manera puede ocultar el hecho de que no basta con que un ingeniero sea de “buen corazón” para que pueda identificar apropiadamente los supuestos, implicaciones y límites éticos y políticos de cualquier aplicación de herramientas de la ingeniería. Esto requiere de conocimientos sobre los sistemas en los que se interviene, así como sobre las diferentes formas de pensar que se han formado en torno a dichos sistemas. Beder lo plantea de la siguiente manera, en particular acerca de la conciencia ambiental (1996, p.39):

Asegurarse de que los egresados de ingeniería lidian con la sostenibilidad en su trabajo, requiere más que solamente enseñarles a evaluar el impacto de sus actividades en el medio ambiente y a instalar mecanismos de control de polución. Los egresados de ingeniería necesitarán entender los factores que inhiben la implementación de tecnologías verdes limpias así como sus propios roles y responsabilidades como ingenieros en el desarrollo de tecnologías.

Es la corriente conocida como Pedagogía Crítica o Pedagogía Radical, más que el Movimiento de Pensamiento Crítico, la que ha desarrollado más específicamente una noción crítica del conocimiento en relación a los sistemas sociales, en la que éste cumple una función centralmente política (Freire, 1970; Darder, Baltodano y Torres, 2003). Dentro del contexto de la educación de las matemáticas, Marilyn Frankenstein (1998) ha propuesto un esquema de objetivos de aprendizaje sobre cuatro dominios de conocimiento: 1) las matemáticas; 2) las matemáticas de lo político; 3) lo político de las matemáticas; y 4) lo político del conocimiento en general. De esta manera, ella pretende que sus estudiantes aprendan los conceptos matemáticos, que aprendan que el conocimiento matemático puede ser utilizado para comprender o intervenir mejor la realidad de lo social y lo político, y que aprendan a identificar cómo las matemáticas y el conocimiento en general pueden ser utilizados para servir intereses particulares en el mundo de lo social y lo político. El pensamiento crítico aparece aquí en los tres últimos dominios en los cuales Frankenstein definió sus objetivos: en el segundo se refiere a la crítica de la realidad *desde* la dinámica de sistemas, mientras que en el tercero y el cuarto se trata de la crítica *sobre* la dinámica de sistemas y sus aplicaciones. Aprovechando este esquema, puede decirse que un ingeniero crítico en esta tercera esfera de acción por un lado identifica tanto los clientes, propósitos, supuestos normativos y concepciones generales que se manifiestan en diferentes

diseños de ingeniería, como aquéllos que *no* se manifiestan allí y que por lo tanto han sido excluidos. Y por el otro lado, cuando sea aplicable, el ingeniero crítico utiliza las herramientas de la ingeniería para comprender mejor la realidad social y política.

Para ser consistentes con lo anterior una educación crítica en ingeniería en esta tercera esfera debe necesariamente adoptar de forma explícita dentro de sus objetivos de aprendizaje, los relacionados con la promoción del conocimiento de los sistemas sociales sobre los cuales se hace o hará intervención, de los actores involucrados, de sus intereses y propósitos, de las maneras en las que el conocimiento se ha utilizado para legitimar o deslegitimar esos intereses o propósitos, de las formas de poder que rodean a cualquier implementación de diseños de ingeniería, y de las concepciones e ideologías que entran en ellos tanto en la definición de fines como en la especificación de medios. Este conocimiento no es trivial, ni se deduce con sólo preguntárselo. Se necesita que los estudiantes lo construyan. Pero en general se mantiene ausente o desarticulado de los currículos de los programas de ingeniería.

5. Una ilustración

En este capítulo mostraré cómo estas diferentes dimensiones del pensamiento crítico en ingeniería se han tenido en cuenta en el diseño e implementación de estrategias en un curso perteneciente a un programa de ingeniería industrial dentro de la Universidad de Los Andes, en Bogotá, durante el primer semestre del año 2007. (Un reporte más completo se encuentra en Cascante, 2007.) El curso se llama “Dinámica de Sistemas”, y es obligatorio para los estudiantes de dicho programa, que lo toman normalmente en cuarto semestre justo después de los cursos básicos de física y matemáticas. La dinámica de sistemas es un enfoque que utiliza herramientas de simulación continua para la modelación de sistemas sociales u organizacionales, con el fin de aprender sobre cómo sus estructuras causales inciden en su comportamiento, para apoyar la toma de decisiones (Forrester, 1961; Sterman, 2000). En la dinámica de sistemas, usualmente se comienza con diagramas de ciclos causales que permiten conceptualizar la situación problema, luego se pasa a diagramas más especializados de niveles y flujos, para por último introducir ecuaciones que permiten hacer simulación. Un practicante crítico de la dinámica de sistemas, de acuerdo con la discusión en los capítulos anteriores, debe haber desarrollado algunas habilidades y disposiciones transversales, además de otras enfocadas en cada una de las tres esferas de acción del pensamiento crítico en ingeniería postuladas arriba.

Promoción de habilidades y disposiciones transversales

Partimos del supuesto de que si los estudiantes se encuentran consistentemente en ambientes de aprendizaje en los cuales ellos deben formular preguntas, intentar responder a las formuladas por ellos y por otros, evaluar posiciones propias y de otros, y hacer todo esto de forma reflexiva y razonada, será más probable que lo hagan en nuevos contextos y sobre nuevas formas de conocimiento que se encuentren por fuera del aula de clases. Desde aquí, utilizamos los trabajos de Young (1992) y de Mejía y Molina (2007; ver también Mejía, Orduz y Peralta, 2006), quienes formulan diferentes modos en los cuales se estructuran las conversaciones entre profesores y estudiantes, o *géneros conversacionales*, y analizan de qué manera los elementos que caracterizan a cada género promueven o no el desarrollo de disposiciones del pensamiento crítico. Se han postulado algunos géneros que son comunes en las aulas de clase, a saber: *Qué saben los estudiantes* (QSLE), que cumple un propósito diagnóstico para determinar si los estudiantes

pueden reproducir el conocimiento previamente trabajado en clase; *Adivinen lo que piensa el profesor* (ALPEP), en el cual los estudiantes van intentando adivinar, a partir de pistas que ofrece el profesor, cuál es la respuesta que éste está esperando; *Razone hacia la respuesta del profesor* (RHRP), que es similar al anterior pero con la diferencia de que en este caso las “pistas” son parte del argumento mediante el cual se justifica la respuesta; *El opinadero* (MO), en el cual todos los estudiantes participan dando sus opiniones en clase, pero lo hacen de manera desconectada, y donde el propósito al que se sirve es uno de participación; *Dígame la verdad* (DV), en el cual el profesor presenta un contenido y los estudiantes realizan preguntas que tienen una función exclusivamente aclaratoria; y por último *Conversación discursiva* (CD), que se caracteriza por una participación de los estudiantes en formular y responder preguntas, y por evaluar y establecer conexiones entre las posiciones avanzadas por ellos y por otros en la conversación. Son principalmente la *Conversación discursiva* y en menor medida *Razone hacia la respuesta del profesor*, los géneros que más promueven las habilidades y disposiciones transversales de pensamiento crítico (Mejía y Molina, 2007).

De manera consistente con lo anterior, el curso de dinámica de sistemas en todos sus módulos se estructuró alrededor de talleres de trabajo en grupo, bajo principios de aprendizaje colaborativo, que permitieran que los estudiantes debatieran soluciones a problemas de frontera abierta y de cierta complejidad, favoreciendo así la conversación discursiva. Adicionalmente, el profesor hizo seguimiento en las conversaciones “plenarias” en las cuales participaba toda la clase, utilizando para ello a los géneros conversacionales como herramienta de observación de clases, con el fin de retroalimentarse y así poder ajustar sus actividades y estrategias en clase. Las observaciones mostraron que aparecieron muy mayoritariamente los géneros *Razone hacia la respuesta del profesor* y *Conversación discursiva* (Cascante, 2007).

Promoción de pensamiento crítico en la primera esfera de acción

Un ejercicio de definir, para la dinámica de sistemas específicamente, el pensamiento crítico en la primera esfera de acción, lleva a la formulación de desempeños esperados como los que se presentan a manera de ejemplo a continuación:

- Construcción apropiada de modelos que involucran aspectos intangibles (y sobre los cuales las respuestas a preguntas sobre modelación no son evidentes)
- Extensión y adaptación de modelos genéricos de dinámica de sistemas para adecuarse a las condiciones de la situación problema
- Identificación de errores lógicos en nuestras construcciones cotidianas de explicaciones causales

En general, la promoción de desempeños como estos se basó en las estrategias que acabo de mencionar con respecto a las habilidades y disposiciones transversales, aplicadas específicamente a los contenidos técnicos de la dinámica de sistemas. En este caso, en concreto, el tipo de problemas que los estudiantes tuvieron que enfrentar en sus talleres involucró situaciones problema de frontera abierta (problemas reales o que se pueden ubicar entre semirreales y reales, en la terminología de Skovsmose, 1999), que obligaran a los estudiantes a usar su capacidad de juicio para determinar qué supuestos se pueden adoptar más o menos válidamente para la construcción de modelos. Ahora, el análisis de las clases mostró que desempeños como los mencionados arriba fueron promovidos por las clases, pero no así otros, como la problematización de la relación entre estructura y comportamiento, que se ha tomado

tradicionalmente como premisa fundamental dentro de la dinámica de sistemas (ver Mejía et al., 2007).

Promoción de pensamiento crítico en la segunda esfera de acción

La contrastación de la dinámica de sistemas con otras herramientas alternativas fue en este caso un punto débil de la experiencia. Algunas herramientas alternativas que en una situación problema podrían “competir” con la dinámica de sistemas son los modelos estadísticos, modelos de optimización, modelos de simulación discreta, modelos sistémicos basados en estructura comunicativa (como los cibernéticos), y metodologías “suaves” que favorecen la participación y el entendimiento mutuo, entre otras. Éstas son de interés particular para los estudiantes de ingeniería industrial de la Universidad de Los Andes por cuanto corresponden a herramientas que la mayoría de ellos estudia a lo largo de su carrera universitaria. Algunos asuntos de esta contrastación que fueron abordados en diferentes momentos del curso, y que se constituyen en criterios de comparación de la dinámica de sistemas con herramientas alternativas, son los siguientes:

- La dificultad de cuantificación de algunas variables en los modelos, y en especial de algunos parámetros de relaciones entre variables (ver Coyle, 2000)
- Las diferencias en los enfoques causal (de la dinámica de sistemas) y correlacional (de la estadística) y sus implicaciones en la posibilidad de obtención de información así como en la posibilidad de hacer predicciones y explicaciones
- El supuesto de que hay una visión de mundo unificada desde la cual se formula un modelo de la situación problema; o de que si existen diferencias entre las visiones de mundo de los actores involucrados, éstas no son radicales y pueden resolverse fácilmente (ver Jackson, 2000)

Hay que decir que en general los elementos de crítica en esta segunda esfera aparecieron casi siempre de una forma un poco casual, no diseñada, aisladamente, sujetos a la premura del tiempo, y sin participación activa de los estudiantes en su reflexión y construcción. El tercer punto de los mencionados arriba es una excepción, por cuanto se discutió formalmente como parte de la crítica de la dinámica de sistemas realizada por Jackson (2000). Sin embargo, no estuvo integrado al desarrollo del curso, apareciendo solamente como un pequeño módulo al final del semestre (Cascante, 2007). Una estrategia más integrada consideraría las preguntas sobre los supuestos, fortalezas y limitaciones de la dinámica de sistemas a lo largo de todo el curso, aprovechando los múltiples momentos en los cuales se estudian casos o se realizan proyectos con la herramienta.

Promoción de pensamiento crítico en la tercera esfera de acción

Desde esta esfera de acción, y de acuerdo con la discusión del capítulo anterior que sigue el esquema de Frankenstein, se definieron dos objetivos relacionados con la promoción de pensamiento crítico. El primero fue la comprensión de los aspectos éticos, sociales y políticos de la aplicación de la dinámica de sistemas. Este objetivo se relaciona con la identificación de los propósitos que se encuentran (y que no se encuentran) detrás de la construcción de un modelo, a quién sirve (y a quién no), y el porqué de la implementación de ciertas políticas (y no de otras) para un sistema, entre otros. Estos son elementos que pueden verse afectados por las creencias, ideologías y posiciones de la persona que construye o contrata el modelo. Se pregunta también por los efectos de las políticas elegidas sobre todos los involucrados en el sistema y sobre

aquellas cosas que son de interés o importancia para ellos. El segundo objetivo considera el uso de la dinámica de sistemas para representar temas de interés ético, social y político, y ayudar en su crítica y comprensión. Algunos elementos de la dinámica de sistemas, y preguntas relacionadas, que se pueden estudiar para trabajar este tipo de pensamiento crítico, son las siguientes:

- Políticas evaluadas con el modelo. ¿Qué políticas se evaluaron con el modelo? ¿Qué otras políticas podrían haberse evaluado? ¿Por qué no se evaluaron? ¿Qué está siendo considerado posible y qué no, por quienes definieron las políticas que se evaluaron? ¿Qué criterios (“variables de impacto”) se utilizaron para evaluar el éxito de las políticas?
- Variables de impacto. ¿Qué variables de impacto se eligieron como indicadores de qué tan bien está la situación? ¿Qué visión de mundo o ideología está representada por la elección de esas variables de impacto? ¿Qué otras variables deberían haberse elegido desde el punto de vista de otros actores de la situación?
- Teorías sobre la situación utilizadas para definir el modelo. ¿Qué teorías entraron en la construcción del modelo? ¿Qué teorías alternativas hay? ¿Qué visión de mundo o ideología presuponen esas teorías? ¿Quiénes fueron considerados expertos en ese caso? ¿Desde qué otras visiones de mundo/ ideologías, podrían haber sido considerados otros como expertos? ¿Cuál es la naturaleza de su experticia? (Ver Ulrich, 1983 y 2000.)

La estrategia utilizada en este caso consistió en la discusión de preguntas como las anteriores en los diferentes momentos en los que se construyeron y utilizaron modelos en situaciones reales o semirreales, o en los que se analizaron modelos y proyectos de dinámica de sistemas reportados en la literatura. Por supuesto, no todas las actividades de aprendizaje involucraron preguntas de este tipo, que se reservaron principalmente para los análisis de casos completos más que para el aprendizaje de los conceptos básicos. De todos modos, estos espacios de promoción de pensamiento crítico en la tercera esfera de acción fueron abiertos durante todo el semestre.

Algo que vale la pena resaltar con respecto a esta tercera esfera de acción consiste en que el conocimiento que necesita va más allá de las ciencias naturales y las matemáticas, e involucra a las ciencias sociales. Un ingeniero crítico, de forma cabal, es necesariamente alguien cuyo conocimiento se extiende no solamente hacia abajo, sino también hacia los lados. Y los retos que plantea el reconocimiento de esto son enormes, porque demanda de las universidades el comenzar a integrar los que hasta el momento han sido en muchos casos, dominios separados.

6. Consideraciones finales

En este artículo he argumentado por qué considero que los enfoques dominantes de pensamiento crítico en ingeniería son limitados; y he mencionado también algunas posibles implicaciones de adoptarlos. Para suplir esta falencia de dichos enfoques, he propuesto un esquema que, además de las habilidades y disposiciones transversales, sugiere el trabajo sobre el pensamiento crítico en tres esferas de acción: el uso inteligente de las herramientas de la ingeniería, la contrastación entre diferentes herramientas de la ingeniería, y el entendimiento de los proyectos de ingeniería como intervenciones en sistemas sociales. La dificultad con la idea de habilidades y disposiciones transversales como únicos objetivos de pensamiento crítico se hace más notoria en el hecho de que personas que pueden ser muy críticas en la primera o en las dos

primeras esferas de acción, puede no serlo en la tercera. Más aún, es muy probable que ése sea el caso de muchos de los más hábiles practicantes y educadores de la ingeniería en la actualidad.

He intentado también mostrar cómo se puede particularizar el esquema propuesto para un curso sobre una herramienta, con "Dinámica de Sistemas" como ejemplo. Esto corresponde a una visión del pensamiento crítico (extensible a la ética) según la cual éste no puede ser trabajado exclusivamente desde cursos aislados, sino que necesariamente debe trabajarse a través de todo el currículo. Los esfuerzos que se requieren en este caso, sin embargo, conciernen ya no solamente al trabajo de algunos profesores, individualmente, sino el de toda una facultad.

Referencias

- ABET (1994). Curricular Objectives. En *ABET 1993-94 Accreditation Yearbook*.
- ABET (2003). Criteria for Accrediting Engineering Programs. Disponible en http://www.abet.org/images/Criteria/E001_04-05_EAC_Criteria_11-20-03.pdf [09-2007]. Accreditation Board for Engineering and Technology, *Curricular Objectives*, para. IV.C.2. of "ABET 1993-94 Accreditation Yearbook," p. 61.
- Beder, S. (1996). Toward an environmentally conscious engineering graduate. *Australasian Journal of Engineering Education*, vol.7, no.1, pp. 39-45.
- Beder, S. (2000). Valuable skills learned from "basket-weaving". *Engineers Australia*, marzo, p. 46.
- Cascante, M. (2007). *Promoción de pensamiento crítico en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes*. Tesis de maestría sin publicar, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Bogotá.
- Coyle, G. (2000). Qualitative and quantitative modelling in system dynamics: Some research questions. *System Dynamics Review*, vol.16, no.3, pp.225-244.
- Dawood, A. y Deriche, M. (1999). Riding the wave of new strategies in engineering education. En las memorias del *Fifth International Symposium on Signal Processing and Its Applications (ISSPA)*.
- Darder, A., Baltodano, M. y Torres, R. (2003). *Critical pedagogy: An introduction*. En *The critical pedagogy reader*. Nueva York: Routledge.
- Duhan Kaplan, L. (1994). Teaching intellectual autonomy: The failure of the critical thinking movement. En K. Walters (ed.), *Re-thinking reason: New perspectives in critical thinking*. Albany: State University of New York, pp.205-219.
- ECPD (1941). The Engineers' Council for Professional Development. *Science*, vol.94, no.2446, p. 456.
- Ennis, R. (1995). *Critical thinking*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Fellows, S.B.; McGrann, R.T.R.; Laferty, M. (2004). Collaborative partnerships: writing in the engineering classroom (using undergraduate course assistants from the English department to improve writing skills in science and engineering students). En las memorias de la 34th *Frontiers in Education Conference*.
- Fisher, A. (2001). *Critical thinking: An introduction*. Cambridge: Cambridge University.
- Forrester, J. (1961). *Industrial dynamics*. Cambridge: MIT Press.
- Frankenstein, M. (1998). Reading the world with maths: Goals for a criticalmathematical literacy curriculum. Disponible en: <http://www.nottingham.ac.uk/csme/meas/papers/frankenstein.html> [09-2007]
- Freire, P. (1970). *Pedagogía del oprimido*. México: Siglo XXI.

- Giroux, H. (1994). Toward a pedagogy of critical thinking. En K. Walters (ed.), *Re-thinking reason: New perspectives in critical thinking*. Albany: State University of New York, pp.199-204.
- Gunnink, B. y Sanford Bernhardt, K. (2002). Writing, critical thinking, and engineering curricula. En las memorias de la 32nd *Frontiers in Education Conference*.
- Jackson, M. (2000). *Systems approaches to management*. Nueva York: Kluwer.
- McPeck, J. (1994). Critical thinking and the "trivial pursuit" theory of knowledge. En K. Walters (ed.), *Re-thinking reason: New perspectives in critical thinking*. Albany: State University of New York, pp.101-117.
- Mejía, A. (2001). Reconstruction in criticality: A discussion on questions, assumptions, and interpretation. *Inquiry: Critical Thinking Across the Disciplines*, vol.XXI, no.1, pp.17-31.
- Mejía, A. (2005). Some philosophical issues concerning the promotion of critical thinking in education. En las memorias de la *Annual Conference of the Philosophy of Education Society of Great Britain (PESGB)*.
- Mejía, A., Díaz, F., Díaz, G. y Olaya, C. (2007). Ser directo puede traerte problemas, pero ser indirecto también: Las realimentaciones en dinámica de sistemas cualitativa y cuantitativa. Artículo aceptado para el *Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas*.
- Mejía, A. y Molina, A. (2007). Are we promoting critical autonomous thinking? Observing conversational genres can help us answer that question – but not too much. *Cambridge Journal of Education*, vol.37 no.3, pp.409-424.
- Mejía, A., Orduz, M., Peralta, B. (2006). ¿Cómo formarnos para promover pensamiento crítico autónomo en el aula? Una propuesta de investigación acción apoyada por una herramienta conceptual [Versión electrónica]. *Revista iberoamericana de educación*, vol.39, no.6.
- Mejía, A. y Zarama, R. (2004). La promoción de pensamiento crítico en ingeniería. *Revista de Ingeniería*, no.20, pp.88-102.
- Nelson, S. (2001). Impact of technology on individuals and society: a critical thinking and lifelong learning class for engineering students. En las memorias de la 31st *Frontiers in Education Conference*.
- Norris, S. y Ennis, R. (1989). *Evaluating critical thinking*. Pacific Grove: Midwest.
- Paul, R. (1993). *Critical thinking: What every person needs to survive in a rapidly changing world*. The Foundation for Critical Thinking.
- Paul, R., Niewoehner, R. y Elder, L. (2006). *Engineering reasoning*. The Foundation for Critical Thinking.
- Sánchez, L. (1995). Critical thinking and design: Evolution of a freshman engineering graphics course. *New Directions for Teaching and Learning*, no.61, pp.67-76.
- Siegel, H. (1988). *Educating reason: Rationality, critical thinking and education*. Londres: Routledge.
- Siller, T. (2001). Sustainability and critical thinking in civil engineering curriculum. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, vol.127, no.3, pp. 104-108.
- Skovsmose, O. (1999). *Hacia una filosofía de la educación matemática crítica*. Bogotá: Uniandes.
- Sterman, J. (2000). *Business dynamics. Systems thinking and modeling for a complex world*. Boston: McGraw-Hill.
- Ulrich, W. (1983). *Critical heuristics of social planning: A new approach to practical philosophy*. Chichester: Wiley.
- Ulrich, W. (2000). Reflective practice in the civil society: The contribution of critically systemic thinking. *Reflective Practice*, vol.1, no.2, pp.247-268.
- University of Utah College of Engineering, (s.f.) What is engineering? Disponible en <http://www.coe.utah.edu/k12/What> [09-2007]
- Young, R. (1992). *Critical theory and classroom talk*. Clevedon: Multilingual Matters.