

Sobre la formación de ingenieros creativos

*Richard M. Felder**

Los problemas más arduos que enfrenta nuestra sociedad —cómo proveer a todos nuestros ciudadanos de comida, vivienda y cuidados médicos adecuados y asequibles, transporte público económico y eficiente, energía limpia y segura— no se resolverán por métodos fáciles ni convencionales. Si así fuera, ya se habrían resuelto. Desde el momento en que los problemas son tecnológicos, se necesitan ingenieros creativos para resolverlos. Nosotros —los profesores de ingeniería— estamos dedicados a formar ingenieros. Parece ser nuestra responsabilidad, y también es de nuestro mayor interés formar algunos ingenieros creativos, o cuando menos, no debemos extinguir la chispa de creatividad que nuestros estudiantes poseen. Sin embargo, no estamos logrando este propósito. A pesar de todo lo que se ha escrito y se he a dicho acerca de la solución de problemas y del pensamiento crítico y creativo, la mayoría de las escuelas de ingeniería se basan en el formato tradicional clase—tareas—examen de problemas bien definidos y respuestas correctas únicas. Desafortunadamente, aunque es eficiente, este formato no ha sido efectivo para desarrollar las habilidades críticas e innovadoras de pensamiento que se necesitan para resolver los problemas tecnológicos complejos.

Sin embargo, a medida que la presión aumenta para incluir más y más información en cada curso, encontramos difícil hacer algo más que cubrir el temario. Con el sistema universitario de estímulos, inclinado hacia la investigación, no hay incentivos más que la satisfacción personal para desarrollar y probar nuevos métodos de enseñanza.^{1,2} Así es que continuamos cubriendo el temario, pretendiendo que lo que enseñamos es lo mismo que lo que nuestros estudiantes aprenden.

El trabajo descrito en este artículo está basado en cuatro premisas:

1) Las técnicas que han sido desarrolladas por psicólogos y teóricos de la educación para estimular el pensamiento creativo, pueden ser auxiliares valiosos a los métodos tradicionales de la educación en ingeniería.

2) Para ser efectivas, estas técnicas deben incluirse en el *currículum* y no relegarse a cursos optativos sobre “solución de problemas”.

3) Los métodos que pretenden desarrollar la creatividad y las habilidades del pensamiento de alto nivel no deben tomar demasiado tiempo de clase. Se debe cubrir mucha información en los cursos de ingeniería (aunque tal vez, no tanta como pensamos) y correcta o incorrectamente, los instructores no adoptarán métodos que no les permitan ver todo el temario.

4) Los métodos nuevos no deben tomar demasiado tiempo del instructor. Cualquiera que sea su lógica pedagógica y sus beneficios potenciales, un método nuevo que toma demasiado tiempo y esfuerzo para implementarlo, probablemente no se implementará.

El espacio disponible no permite una revisión de los métodos para el desarrollo de la creatividad en la solución de problemas. Han sido descritas extensamente en otro lugar y la bibliografía al final lista algunos de los trabajos más importantes.

El examen genérico

Intenté poner en práctica varias ideas para estimular la creatividad en dos grupos en los que di clase el año pasado. Los resultados me mostraron que tales ejercicios pueden producir algunos resultados extremadamente interesantes que dan lugar a la reflexión, y pueden resultar agradables para todos los involucrados. Sin embargo, se debe establecer un fundamento adecuado si la experiencia ha de producir algún beneficio.

Mi primera incursión en este campo se llevó a cabo en un curso para graduados en el diseño y análisis de reactores químicos. Para la tercera prueba del semestre les di un ejercicio para llevar a casa por cinco semanas en el que pedía a los estudiantes generar y resolver un examen final para el curso. Se les informó que si hacían un examen simple “dado esto y esto calcule aquello” sin errores, recibirían una calificación mínima de pase; para recibir una mejor calificación deberían lograr que los estudiantes hipotéticos que tomarían el examen, demostraran las tres habilidades de pensamiento de más alto nivel de la taxonomía de Bloom: ANÁLISIS (determinación de mecanismos descomposición de sistemas y derivación de relaciones más allá de lo que podría encontrarse en textos o las notas escolares), SÍNTESIS (aplicación de técnicas de otras disciplinas a problemas de ingeniería de reactores a problemas de otras disciplinas) y EVALUACIÓN (evaluar un diseño o producto o sistema y no sólo establecer

*Universidad de California, Berkeley, CA 94720.

Tomado de Felder, R., “On creating creative engineers”, *Engr. Ed.*, January, 1987, p. 222-227.

Traducción de Ma. del Carmen Doria y Armando Rugaría, UIA.

su corrección técnica y el examen de consideraciones éticas y sociales de seguridad del medio ambiente en el contexto del diseño de procesos y su análisis).

Los detalles de este ejercicio (al que llamé “examen genérico” ya que sin casi ninguna modificación se puede aplicar a cualquier materia de cualquier nivel) se ha descrito en otro artículo.³ El siguiente es un breve resumen.

Durante las primeras semanas después de haberles encargado el trabajo, los estudiantes estaban a disgusto: debían participar de un nuevo “juego” y estaban inseguros de las reglas. (Si usted ha implementado alguna vez cualquier innovación en clase, sabe que los estudiantes odian no conocer las reglas). Preferían resolver una tarea convencional a un problema que involucraba habilidades de pensamiento de alto nivel. Reuní sus problemas —que eran de calidad regular y en gran parte no cumplían el objetivo— los escribí a máquina y los distribuí en clase sin los nombres de los autores. Discutimos cuáles habilidades de pensamiento implicaba cada problema, y cómo mejorarse. En este momento empezaron a comprender, y sus exámenes finales fluctuaron de buenos a espectaculares. Después de completar la tarea, los estudiantes, casi unánimemente, informaron que encontraron el examen muy fácil, instructivo y agradable. Algunos de sus comentarios indican lo que logró el ejercicio:

- “Lo fuerza a uno a pensar con más profundidad que cuando solo se memoriza, lo ayuda a uno a ver interconexiones entre un curso y otros”.
- “1) Fuerza a una revisión del material del curso (y mucho más allá) de una manera integrada. 2) Proporcionó una comprensión de lo que los profesores pretenden lograr con todas esas pruebas que he resuelto durante años”.
- “Siempre me he sentido el más débil cuando se trata de batallar con los exámenes, pero este ejercicio me hizo sentir fuerte. Este examen es uno de los pocos que permite tanto a los pragmáticos como a los teóricos que muestren sus habilidades”.*

Concluí de esta experiencia que un material como el examen genérico puede realmente estimular la creatividad y al mismo tiempo ayudar a la comprensión del material del curso más allá del alcanzado normalmente con el método lineal

* Este estudiante se sentía (con justificación) como un pragmático extraño en un mundo académico diseñado por y para teóricos; tristemente, la idea de que las habilidades prácticas pueden ser valiosas en la ingeniería era nueva para él, aunque sea obvio para cualquiera que ha pasado más de 10 minutos en la industria.

conferencia-tarea-prueba. Para que este tipo de ejercicio tenga éxito, debe utilizarse en varias oportunidades con cada grupo de estudiantes. Es inevitable cierto grado de incomodidad por parte de ellos cuando se inicia su uso, pero si se mantiene dentro de los límites razonables no es una experiencia indeseable.

Ejercicios de creatividad en un curso avanzado

He utilizado una serie de ejercicios en un curso de tercer año en dinámica de fluidos y transferencia de calor que son de tres tipos:

1) Preguntas abiertas donde se da a los estudiantes un problema. Ellos deben establecer el tipo de información que necesitan para resolverlo y cómo pueden obtener o encontrar esa información;

2) Ejercicios de tormentas de ideas (por ejemplo, piense tantas maneras como pueda para llevar a cabo una tarea específica);

3) “Invente un problema” en los términos del examen genérico, pero en una escala más pequeña.

Se dio a los estudiantes más o menos una semana para cada ejercicio, y se les dijo que podían trabajar en pares o individualmente. Los ejercicios y los resultados obtenidos se reseñan a continuación.

Ejercicio 1

Una sustancia tóxica y potencialmente mutagénica (A) se encuentra en el agua de desecho de una planta de productos químicos. Se vacía esta agua en un tanque y se trata con un agente biológico que descompone la sustancia peligrosa en productos que no son dañinos. La razón de descomposición es proporcional a la concentración de A en el tanque; esto es

$$r(\text{kg A en el medio de reacción/litro-s}) = k C_A, \text{ donde } k \text{ es una constante y } C_A (\text{Kg/litro}) \text{ es la concentración de A en el tanque. Una vez que la concentración de A cae bajo un valor mínimo } C, \text{ el contenido del tanque se bombea al río al lado de la planta.}$$

El tanque procesa una sola cantidad de agua de desecho a la vez.

Usted es el ingeniero de proceso a cargo del agua de desecho peligrosa. Su tarea es calcular el tiempo mínimo que debe permanecer el agua en el tanque y en general, la revisión del procedimiento para la accesibilidad y la seguridad.

a) Defina las cantidades que necesitaría saber para determinar el tiempo mínimo de retención del agua en el tanque. Después, sugiera maneras para obtener valores de esas cantidades.

b) Derive una relación matemática para el tiempo míni-

mo de retención del agua en términos de las cantidades especificadas en la parte (a).

c) Numere los defectos que en él se le ocurran en este esquema de tratamiento de desechos. Para cada uno, sugiera cómo podría determinar la posibilidad de que surjan problemas, las medidas de seguridad que podrían tomarse si sucediera un percance, y los procedimientos alternos posibles que podrían preferirse.

Las respuestas a esta pregunta no fueron muy buenas. La mayoría de los estudiantes se dieron cuenta que necesitarían valores de parámetros explícitamente definidos en el enunciado del problema, pero no sabían cómo obtenerlos. Pocos pensaron en parámetros no mencionados, como la concentración inicial de A en el agua de desecho. La parte (b) era más directa y dio poco problema a la mayoría de los estudiantes. En la parte (c) el número promedio de defectos posibles del sistema fue de cuatro por cada estudiante; el máximo fue 10 y el número total de ideas diferentes fue 34. Se sugirieron pocos procedimientos de seguridad. Muchos estudiantes pensaron en escurrimientos; otros pensaron que la ecuación dada, la constante de la ecuación o la concentración inicial podían estar incorrectas, el agente biológico podía no ser efectivo o que se podría agregar una cantidad equivocada; las tuberías podrían explotar debido al congelamiento, la corrosión o bloqueo de flujo por el sedimento que se podría formar si el tanque se cerrara y los gases se liberaran; podían ocurrir reacciones colaterales, etcétera.

Reuní todas las respuestas de la parte (c) y se las distribuí a los alumnos, diciéndoles que en la lluvia de ideas todas las respuestas—incluyendo las menos posibles, como que un avión chocara contra el tanque—contaban. Destaqué que las ideas que parecen más absurdas llevan a otras que pueden ser buenas; el choque de un avión, por ejemplo, puede sugerir que algo menos absurdo chocara contra el tanque como un camión o grúa. El número promedio de respuestas dadas en ejercicios subsecuentes de pensamiento divergente aumentaron poco a poco a medida que progresaba el semestre y que los estudiantes empezaron a comprender.

Ejercicio 2

Usted se enfrenta a la tarea de medir el flujo volumétrico de un líquido en una tubería grande. El líquido fluye en turbulencia y el perfil de velocidad puede asumirse de tal manera que Ud. sólo necesita medir la velocidad del fluido para determinar la razón volumétrica de flujo. La tubería no está equipada con un medidor de flujo integrado; sin embargo, hay llaves para permitir la inyección o la suspensión de sustancias y el retiro de muestras de fluido. La tubería es de vidrio y el líquido es claro. Asuma que cualquier dispositivo que quiera incluir en la tubería puede hacerse, y que

cualquier técnica que usted proponga puede calibrarse contra velocidades de flujo conocidas.

Invente tantas formas como pueda para obtener la velocidad de flujo y que tengan probabilidad de ser adecuadas. (Ejemplo: Inserte un pequeño salmón en la tubería, suspenda un señuelo irresistible para él a contracorriente y tome el tiempo que le toma al pez atravesar una sección equis de la tubería). Obtendrá un punto por cada cinco técnicas que piense (no se darán puntos fraccionarios), hasta un máximo de 10 puntos. Note, sin embargo: las técnicas deben ser substancialmente diferentes una de otra para contar. Dánome un tubo Pitot con 10 diferentes fluidos como manómetros, por ejemplo, no lo llevará a ningún lado.

Treinta y un individuos y nueve parejas entregaron respuestas de un total de 49 estudiantes. El número promedio de técnicas para medir el flujo de fluidos fue 26; el más alto fue 53, el más bajo cinco. Algunos estudiantes consultaron libros que listaban diferentes medidores de fluidos, lo que fue perfectamente aceptable. Muchos fueron más creativos y hubo respuestas inteligentes, humorísticas, ingeniosas y fantásticas. En conjunto, se propusieron más de 200 métodos, pero el espacio no permite incluirlos aquí.

Ejercicio 3

A los estudiantes se les pidió plantear (no resolver) un problema que involucrara cálculos de caída de presión de un fluido y cálculos para determinar el tamaño de una bomba, y se les dijo que el problema debería involucrar alguna combinación de análisis, síntesis y evaluación (estos términos se explicaron en un pequeño folleto). La mayoría de sus problemas fueron rutinarios, como se esperaría de los primeros ejercicios, pero hubo algunos esfuerzos sorprendentes. Los problemas propuestos involucraban la capacidad de una bomba de un sistema de riego para un campo de golf de nueve hoyos; hacer cálculos de caída de presión para un laboratorio de síntesis química localizado bajo tierra; cálculos de diseño de un sistema de circulación para usarse en una cirugía de corazón abierto, incluyendo un sistema de alimentación continua por gravedad para la anestesia; cálculos de balance de masa y energía e hidrodinámicos para un sistema de bomba-filtro para un acuario; y el diseño de un sistema de control automático para neutralizar agua de desecho ácida.

Ejercicio 4

Su tarea en esta ocasión es inventar tantas maneras como pueda para medir la viscosidad de un fluido. Obtendrá un punto por cada cuatro formas que invente, hasta un máximo de 10 puntos. Asuma que cualquier técnica que use puede calibrarse con fluidos de viscosidad conocida. Un método que involucre la estimación de viscosidad de los datos me-

dados sin usar una curva de calibración ganará el doble de puntos si se acompaña de una breve explicación de cómo se haría el cálculo. Un método que involucre la utilización de una hamburguesa obtendrá también el doble de puntos.

Las siguientes soluciones NO recibirán ningún crédito esta vez: 1) Comprar un medidor de viscosidad; 2) Contratar a alguien (u ofrecer a alguien una hamburguesa) para medir la viscosidad; 3) Preguntar a alguien que sepa (humano o deidad); 4) Buscarlo en las tablas de viscosidad.

Este ejercicio de creatividad se parece al Ejercicio 2; sin embargo, el establecer que se darían más puntos a los métodos que no requirieron calibración, animó a los estudiantes a revisar cada fenómeno estudiado en clase que podía ser influido por la viscosidad de un fluido (por ejemplo: el establecer la velocidad de un objeto sólido, caída de presión en un lecho empacado o a través de un orificio, transición del flujo de un fluido de turbulento a laminar, etc.) e inventar una técnica de medición de la viscosidad a partir de esto. El hacerlo sin calibración significaba que las relaciones que gobiernan los fenómenos debían determinarse y convertirse en ecuaciones en función de la viscosidad, lo que en algunos casos, no es una tarea sencilla. Al dar doble puntaje a soluciones que involucraban hamburguesas (obviamente cualquier sustantivo podría haberse sustituido) estimuló a los estudiantes para que pensarán en cosas que nunca habrían pensado en una tarea más convencional.

Ejercicio 5

Una cantidad de gas caliente que sale de una unidad de proceso a 250°C, se descarga hacia la atmósfera. Se desea que se mejore el ahorro de energía del proceso utilizando esta corriente antes de descargarla.

a) Uno de los usos posibles de la corriente es producir vapor saturado en una caldera. ¿Cuál es un límite superior de la presión a la cual el vapor puede producirse? ¿Por qué la presión real del vapor necesariamente sería más baja?

b) Suponga que el vapor se produce con una presión de 70% del límite superior dado en (a) cuando se pasa el gas caliente en una espiral inmersa en agua. Esquematice los cálculos para determinar el largo de la espiral, dando todas las ecuaciones y correlaciones que utilizaría. Liste las cantidades que necesitaría saber para hacer los cálculos y cómo los revisaría.

c) Enumere tantos usos potenciales de la corriente de desecho como pueda pensar. Si hay condiciones bajo las cuales un uso no sería adecuado o sería imposible, mencione cuáles son.

La parte (a) es un ejercicio trivial en el uso de las tablas de vapor. La parte (b) es un enunciado deliberadamente inadecuado de un problema: uno debe asumir bien sea que la cantidad requerida de vapor es conocida y que la veloci-

dad de flujo de gas es adecuada para generarla, o que se desea determinar la cantidad máxima de vapor que puede producirse a partir de la velocidad de flujo del gas dada. La mayoría de los estudiantes tomaron ambas velocidades de flujo como dadas, por lo tanto, sobre especificaron el problema. Pocos se esforzaron por desarrollar un procedimiento de solución coherente, y aquéllos que lo hicieron no indicaron cómo calcularían los coeficientes individuales de transferencia de calor, o simplemente dijeron “que los medirían o los buscarían”.

Cuando los estudiantes se enfrentaron a este ejercicio ya habían hecho ejercicios de tormenta de ideas y en sus respuestas de la parte (c) produjeron una gran variedad de usos alternativos para la corriente de desecho, incluyendo usarlo para calentar la planta, unidades de proceso, el agua que alimenta a la caldera, un invernadero o el sauna de la compañía; para manejar una turbina, un molino de viento o una compresora; para derretir nieve, evitar que la tubería externa se congele; secar productos sólidos, automóviles, ropa, las manos, el cabello o las axilas; crear vacío, esterilizar equipo, volar hojas, nieve o vidrio, apagar flamas, llenar globos con aire caliente, calibrar termopares, esculpir hielo, quemar a los intrusos de los terrenos de la planta, matar insectos, desfoliar selvas y cometer suicidio.

Desempeño de los estudiantes

La mayoría de los estudiantes intentaron realizar la mayoría de los ejercicios, y sus niveles de desempeño mejoraron a medida que el curso avanzaba. No pareció haber una correlación entre la ejecución de los ejercicios y la ejecución de las tareas convencionales y los exámenes: algunos estudiantes se desempeñaron muy bien o pobremente en ambos, otros lo hicieron bien en uno y de forma mediocre en el otro. No fue sorprendente que hubo mejores resultados en los ejercicios en los que tuvieron mayor práctica: muy bien en los ejercicios sobre pensamiento divergente (lluvia de ideas), de los cuales había cuatro; bien en las preguntas abiertas; y pobremente en los ejercicios de formulación de problemas, de los cuales sólo hubo uno.

En las evaluaciones del curso, los estudiantes mostraron una actitud positiva respecto de los ejercicios y la mayoría indicó que además de aprender se divirtieron. Desde mi punto de vista, los ejercicios fueron muy exitosos. Pude ver una mejoría en el pensamiento divergente de muchos estudiantes; sus respuestas me dieron material excelente para iniciar las discusiones en clase y todo se hizo sin tomar mucho tiempo de clase. Tal vez lo más importante fue que los ejercicios permitieron a los estudiantes más creativos descubrir la facilidad que tienen para el pensamiento divergente, y que pueden usar esta habilidad para resolver problemas difíciles. Este descubrimiento no garantiza que ellos

continuarán con grandes hazañas de creatividad en la ciencia y la ingeniería, pero es un primer paso hacia ese fin.

Resumen y recomendaciones

El formato familiar CONFERENCIA-TAREA-EXAMEN que constituye la base de la mayoría de los cursos de ingeniería es una manera eficiente de presentar mucha información en un tiempo reducido. Nuestro trabajo como educadores de ingeniería, sin embargo, no debe ser únicamente el de impartir hechos, sino preparar estudiantes para resolver problemas. Si hacemos nuestro trabajo bien, nuestros graduados deben prepararse para definir problemas e inventar estrategias para atacarlos, establecer la información que necesitan para implementar estas estrategias, determinar dónde o cómo obtener la información y evaluar las implicaciones de sus soluciones más allá de su contexto inmediato.

Si nosotros vamos a desarrollar y nutrir las habilidades para solucionar los problemas de forma creativa y crítica en nuestros estudiantes, debemos dar oportunidades periódicas para ejercitar estas habilidades, crear una atmósfera en el salón de clases que se preste para tales ejercicios, y reconocer y apoyar a aquéllos que desplieguen talento en esas líneas.

Más aún, debemos hacerlo dentro de nuestros cursos regulares en ingeniería para que estas habilidades de pensamiento y de solución de problemas sean considerados herramientas aplicadas por el ingeniero en forma rutinaria.

Muchos ejercicios de creatividad y otras habilidades de solución de problemas han sido sugeridos en la literatura.

Muchos se citan en la bibliografía y algunos se ilustran en este artículo. Estos ejercicios son de varios tipos:

- 1) Preguntas que piden afluencia de ideas (donde lo que cuenta es la cantidad de soluciones posibles, no su calidad), flexibilidad (variedad de soluciones) y originalidad;
- 2) Preguntas que no están bien definidas y son abiertas, con preferencia a las que están bien definidas y son convergentes;
- 3) Preguntas que requieren la síntesis de información que trasciende el curso o las fronteras disciplinarias;
- 4) Preguntas que requieren evaluación en las cuales las decisiones deben considerar los aspectos sociales y éticos; y
- 5) Preguntas que requieren de la búsqueda de problemas y su definición además o en vez de la solución de problemas.

Es evidente que el número de ejercicios que pueden llevarse a cabo en un curso regular de ingeniería, es limitado y el rango y la naturaleza de los ejercicios deben depender del nivel y el tamaño de la clase. Uno no pensaría en aplicar el examen genérico, por ejemplo, a una clase de 150 estudiantes de segundo año. ¿Quién los calificaría?. Sin embargo, si se dan algunos ejercicios durante un semestre como se hizo en el curso de mecánica de fluidos mencionado en este artículo, puede tener el efecto deseado sin utilizar demasiado tiempo de clase necesario para cubrir el material del curso.

Aunque estos ejercicios pueden ser benéficos, el utilizarlos no garantiza que mejorarán las habilidades de los estudiantes, de igual forma que dar información en una confe-

Sociedad Química de México y Universidad de las Américas-Puebla

Invitan a las secciones estudiantiles de la SQM en todo el país y a estudiantes interesados en general, a participar en el 1er Congreso Nacional de Estudiantes de Química, que se realizará del 24 al 26 de septiembre de 1997 en el campus de la Universidad de las Américas-Puebla.

Informes: **Dr. Marco A. Quiroz Alfaro** (maquiroz@udlapvms.pue.udlap.mx)
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y BIOLOGÍA, Universidad de las Américas, Puebla
Ex-hacienda de Sta. Catarina Mártir, Cholula 72820, Pue.
Tel. (22) 29 2067, Fax: (22) 29 2066

Q. Mario Maldonado (mamata@servidor.unam.mx)
SOCIEDAD QUÍMICA DE MÉXICO, A.C.
Mar del Norte 5, Col. San Álvaro, Deleg. Azcapotzalco, CP 02990, D.F.
Tel. 386 0255, Fax: 386 2905

Interesados pueden consultar la página del Congreso en la Red Latinoamericana de Química
<http://latina.chem.cinvestav.mx>

rencia no garantiza que algo se aprenderá. Los maestros deben crear condiciones adecuadas para aprender el material que se presenta. Hay maneras obvias para hacer esto, tales como favorecer las preguntas, las sugerencias innovadoras y respondiendo positivamente cuando surgen. Otros métodos, como los de lluvia de ideas en pequeños grupos, pueden usarse con efectividad para estimular la generación libre de ideas en un ambiente relativamente seguro.

Un instructor que intenta hacer que los alumnos hagan cosas de forma no familiar, debe anticipar resistencia y no debe descorazonarse por los resultados iniciales, que de seguro no serán halagadores. Es indispensable presentar a la clase el nuevo método de trabajo, su propósito y relevancia (aunque no de forma demasiado detallada) y ejemplos de lo que se espera de ellos. La repetición es también necesaria ya que los estudiantes (como todos los demás) tienden a resistir las nuevas ideas, y muy pocos lo entenderán desde la primera vez.

Finalmente, los instructores que dan ejercicios de pensamiento creativo deben estar pendientes de los estudiantes que parecen tener talento en estas líneas. Los pensadores creativos ven las cosas de manera diferente de la mayoría de la gente, ya que ser diferente no se tolera muy bien en nuestro sistema educacional y social — particularmente en la niñez y la adolescencia. La gente creativa puede intentar desviar su individualidad a formas más aceptables: desaparecer en la multitud o aparecer aburridos o indiferentes. En consecuencia, los talentos creadores bien pueden encontrarse entre los estudiantes que no se consideran académicamente dotados. Son a menudo erráticos en la actuación en clase y son renuentes a contribuir con sus ideas, pues en general no son bienvenidas en las clases tradicionales. Cuando se les da la oportunidad de usar su talento en el pensamiento innovador, estos estudiantes pueden descubrir, tal vez por primera vez, el gran valor potencial de lo que pueden hacer. Este conocimiento puede ser lo que necesitan para emplear su talento en la escuela y en su profesión. Es también probable que entre nuestros estudiantes académicamente dotados estén algunos con potencial creativo oculto — estudiantes que aprendieron temprano que en el juego escolar se gana si se sabe la respuesta correcta (esto es, la que el instructor tenía en mente), y se pierde al seguir ideas innovadoras. Como son inteligentes, estos estudiantes se adaptan rápidamente y muy pronto controlan la mitad de su cerebro para lograr su objetivo. Ellos son los que resuelven los problemas más difíciles, los que tienen la creatividad para desarrollar ideas innovadoras y la habilidad crítica para lograr que funcionen.

Si a ellos se les da la clave para evaluar y usar todos sus dones, ésta puede ser la contribución más importante que los maestros podemos dar a la sociedad.

Referencias

1. Woods, D.R. "Ideas on Encouraging Academic Excellence", *Engineering Education*, vol. 74, no. 2, Nov. 1983, p. 99.
2. Felder, R.M., "Does Engineering Education Have Anything to Do with Either One?" Reynolds Industries Award Distinguished Lecture Series, North Carolina State University. Oct. 1982. (A condensed version appeared in *Engineering Education*, vol. 75, no. 2, Nov. 1984, p. 95-99.
3. Bloom, B.S. (ed.), *Taxonomy of Educational Objectives. Handbook I: Cognitive Domain*. David McKay, New York, 1956.
4. Felder, R.M., "The Generic Quiz. A Device to Stimulate Creativity and Higher-Level Thinking Skills", *Chemical Engineering Education*, Fall 1985, p. 176.

Bibliografía

- Arnold, J.E. "Useful Creative Techniques", in: S.J. Parnes and H.E. Harding (eds.), *A Source Book for Creative Thinking*. New York: Charles Scribners, 1962.
- Barron, F. and D.M. Harrington. "Creativity, Intelligence, and Personality", *Annual Review of Psychology*, vol. 21, 1981, p. 439.
- Bloom, B.S. (ed.). *Taxonomy of Educational Objectives. Handbook I: Cognitive Domain*. New York: David McKay, 1956.
- Costa, A.L. (ed.). *Developing Minds: A Resource Book for Teaching Thinking*. Alexandria, Va.: Association for Supervision and Curriculum Development, 1985.
- de Bono, E. *Lateral Thinking*. New York: Harper and Row, 1970.
- Guilford, J.P. *The Nature of Human Intelligence*. New York: McGraw-Hill, 1967.
- , *Way Beyond the IQ: Guide to Improving Intelligence and Creativity*. Buffalo: Creative Education Foundation, 1977.
- Lubkin, J.L. (ed.). *The Teaching of Elementary Problem Solving in Engineering and Related Fields*, Washington: ASEE, 1980.
- Maslow, A.H. *The Farther Reaches of Human Nature*. New York: Viking Press, 1971.
- Reid, R.P., "Creativity and Challenges in Chemical Engineering", Olaf Hougen Lectures in Chemical Engineering. Madison: University of Wisconsin, 1982. (See also *Chemical Engineering Progress*, vol. 77, no. 6, 1981, p. 23.)
- Rogers, C.R. "Toward a Theory of Creativity", in: S.J. Parnes and H.E. Harding (eds.), *A Source Book for Creative Thinking*, New York: Scribners, 1962.
- Stein, M.I. "Creativity as an Intra- and Inter-personal Process", in: Parnes and Harding (*ibid.*).
- Torrance, E.P., "Creative Thinking through School Experiences", in: Parnes and Harding (*ibid.*). ■