

Una estupenda aportación del profesor Prausnitz, que incluye la recomendación de ensanchar los límites intelectuales de nuestros alumnos, con base en un *curriculum* más flexible.

Hacia el fomento de la creatividad en los estudiantes

*J.M. Prausnitz**

Se ha abusado mucho de la palabra “CREATIVIDAD” porque es difícil definirla con precisión. En el habla común, a menudo se usa con un propósito negativo: los educadores, los políticos y los administradores son criticados por “no ser creativos”; con frecuencia esta crítica significa solamente que el crítico no aprueba lo que el educador, el político o el administrador está haciendo. En la sociedad norteamericana, donde tendemos a alabar lo nuevo y a condenar lo que es viejo, la palabra “creativo”, es un adjetivo positivo, una palabra de alabanza, mientras que la frase “falta de creatividad” es una señal de condena.

El diccionario no ayuda mucho. El diccionario Webster se refiere, por una parte, a la creatividad como “hacer algo de la nada” —como en la Biblia cuando Dios creó la Tierra— y por otra parte, a los actos sociales o legales —como cuando el Congreso crea una nueva ley— o a los actos artísticos —cuando un pintor o un escultor crea una obra de arte.

Ninguna de estas definiciones son satisfactorias

Si tomamos con seriedad el fomento de la creatividad en los estudiantes de licenciatura, debemos ser más flexibles con el *curriculum*

cuando consideramos la creatividad en la ciencia o en la educación de científicos o ingenieros. Dentro de este contexto, prefiero una definición que una vez oí a un psicólogo: “Un acto creativo es aquél donde dos ideas o conceptos, que se creían totalmente independientes, se muestran, por primera vez muy relacionados como dos aspectos de algún concepto o idea unificadora, más general”. Esta definición nos ayuda a encontrar medios para fomentar la creatividad en los estudiantes de ingeniería química, especialmente en los estudiantes graduados.

Permítanme ahora ilustrar esta definición de

*Universidad de California, Berkeley, CA 94720.

Tomado de Prausnitz, J.M., “Toward encouraging creativity in students”, *Chem. Engr. Ed.*, Winter, 1985, p. 22-25. Traducción de Armando Rugaría de la Universidad Iberoamericana, Unidad Golfo Centro.

creatividad por medio de algunos ejemplos de la historia de la ciencia, para después indicar cómo esa definición sugiere algunos procedimientos útiles para educar a científicos e ingenieros creativos.

Un ejemplo sorprendente lo da la historia de la termodinámica. Hasta cerca de 1870, la termodinámica (como su nombre lo indica) era la ciencia de las máquinas de calor, una ciencia que trataba de los principios que gobiernan la conversión del calor en trabajo mecánico y viceversa. Las investigaciones de Mayer, Joule y Carnot mostraron que esta conversión puede ser descrita en forma cuantitativa por medio de relaciones matemáticas simples, las cuales, sin embargo, se caracterizan por una falta de simetría: las reglas para convertir el trabajo a calor no son las mismas que para convertir el calor a trabajo. Fue esta falta de simetría la que llevó a Clausius al concepto de entropía y hacia una formulación cuantitativa de la primera y la segunda leyes de la termodinámica.

Mientras este desarrollo teórico de la termodinámica procedía, había al mismo tiempo un desarrollo significativo experimental en la química, en el que los pioneros de lo que ahora llamamos Físicoquímica estaban midiendo los rendimientos de las reacciones químicas y distribuciones de componentes en las mezclas entre dos o más fases. Más importante aún, nadie había notado ninguna conexión entre estos fenómenos químicos y los principios científicos de las máquinas de calor. Ahora, más de cien años después, reconocemos una conexión debido a nuestra noción de la asimetría y la irreversibilidad: es fácil convertir el trabajo en calor, pero no es fácil hacer lo contrario; es fácil mezclar agua y alcohol, pero habiéndolos mezclado, no es fácil separarlos a su condición inicial.

Sabemos, que fue Gibbs quien primeramente reconoció la conexión entre la físicoquímica y la termodinámica, dos ciencias que antes de él, no habían estado relacionadas. A través de su invención de un concepto unificador —el potencial químico— Gibbs desarrolló un concepto teórico que ha influido y hecho avanzar muchos campos de la ciencia, con efectos benéficos particulares en la ingeniería química. La acción unificadora de Gibbs, que muestra la relación entre campos aparentemente separados, es

un ejemplo sorprendente de lo que nosotros queremos decir por creatividad.

El trabajo creativo de Gibbs relacionó una ciencia con otra; usó los principios científicos a las máquinas de calor para obtener un tratamiento teórico del equilibrio en los sistemas químicos. Sin embargo, la esencia de la creatividad —unir dos ideas separadas— no necesita limitarse a aquellos casos en que

Gibbs, Freud y Gibbs, ejemplos de creatividad, como integradores de disciplinas

ambas ideas provienen del mundo científico. Los actos creativos conectan ideas intelectuales sin tomar en cuenta el origen y la clasificación. Por ejemplo, los escritos autobiográficos de Sigmund Freud indican que el psicoanálisis nació de la interacción de dos factores importantes. Primero, cuando joven, Freud trabajó en un hospital psiquiátrico en París, donde trató a mujeres que sufrían de histeria; segundo, Freud había leído los trabajos filosóficos de Friedrich Nietzsche y se había impresionado con la observación sobre el comportamiento humano, el cual, sólo superficialmente está condicionado por las reglas racionales de la sociedad, mientras que en sus actos esenciales, el comportamiento humano está gobernado por motivos profundamente arraigados e irracionales. Freud vio una conexión al establecer los ahora bien conocidos conceptos del yo y el super yo, que le permitieron interpretar la histeria como consecuencia de la supresión emocional, que generalmente data de la niñez temprana; una vez que el paciente reconocía a la fuente de su problema podía con asesoría encontrar una explicación que a menudo llevaba a una cura. El acto creativo de Freud consistió en aplicar a la medicina lo que en aquel tiempo estaba muy alejado de ella y constituía una filosofía radical.

Un tercer y último ejemplo lo dio el físico Niels Bohr, cuya teoría de complementariedad es aceptada por la mayoría de los científicos como una de las piedras angulares de la física actual. Esta teoría, también conocida como la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica, es un concepto de la naturaleza que considera que la dualidad no es una característica aparente, sino que es una característica fundamental de un fenómeno natural: la luz no es

únicamente corpuscular ni solamente una onda; es ambas cosas, de tal manera que, dependiendo de si la dualidad es fundamental, entonces la causalidad clásica y el determinismo no son posibles, como lo muestra el principio de incertidumbre de Heisenberg. De acuerdo con la interpretación de Copenhague, la probabilidad y la estadística no son sólo aproximaciones que resultan a nuestro conocimiento inadecuado; son las leyes fundamentales que gobiernan los fenómenos naturales.

Bohr nos dice que su teoría de la complementariedad tiene dos raíces: la espectroscopia y la filosofía de Sören Kierkegaard. Éste, un danés como Bohr, se opuso a la filosofía determinista de Hegel que dominaba a la Europa del siglo XIX. La secuencia famosa de Hegel (tesis, antítesis, síntesis) expresaba la noción de que con el tiempo, como un péndulo, una idea particular (o tesis) genera su opuesto (antítesis) y que, posteriormente, las dos ideas opuestas se unen para formar una nueva idea (síntesis). Kierkegaard fue un cristiano profundamente religioso quien dudaba que el hombre podía alguna vez obtener un conocimiento absoluto; tal conocimiento estaba reservado a Dios. Kierkegaard negaba que con el tiempo una idea es seguida por su opuesta; aseguraba en cambio su creencia que dos ideas opuestas existen simultáneamente. Los opuestos coexisten y si examinamos cualquier verdad profunda, encontraremos que su opuesto es verdadero también. La perspectiva de Kierkegaard se explica sucintamente por el título de uno de sus libros, *O lo uno o lo otro*.

Bohr estudió a Kierkegaard en su juventud, un poco antes de que se interesara en interpretar las transiciones de los estados de energía electrónicos, como lo miden los espectroscopistas. Antes de Bohr, la mayoría de los físicos nunca habían oído de Kierkegaard y, aun si lo hubieran hecho, no se les hubiera ocurrido a ninguno de ellos que la crítica abstracta a Hegel hecha por Kierkegaard tenía algu-

Es apropiado incluir música, arte y literatura en un *curriculum* de ingeniería química

na conexión con las transiciones electrónicas. Pero Bohr vio dicha conexión. Su acto creativo consistió en establecer una interpretación de los fenómenos físicos utilizando conceptos de lo que era (y aún es) la filosofía.

**IX CONFERENCIA CIENTÍFICA DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**
Ciudad de la Habana, Cuba

**Conferencia de Ingeniería Química
I Taller Internacional sobre Ingenieros Químicos**

- **Conferencia de Ingeniería Química**
Ing. Edilia Cabrera Galdo
Facultad de Ingeniería Química
Teléfono: (537) 20-7220, Fax: (537) 33-7129
E-mail: quimica@cujae.cu
- **Primer Taller Internacional sobre Formación de Ingenieros Químicos**
Ing. Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas
Facultad de Ingeniería Química
Teléfono: (537) 20-7220, Fax: (537) 272964
E-mail: quimica@cujae.ispjae.edu.cu

PARTICIPACIÓN

La participación puede ser en calidad de ponentes u observadores. Los interesados en enviar trabajos deberán cumplir el cronograma siguiente (los trabajos que se reciban fuera de fecha no aparecerán en las Memorias):

Envío de resúmenes (300-500 palabras): 31 de mayo de 1997

Envío de trabajos (no más de 10 cuartillas): 31 de agosto de 1997.

A la siguiente dirección:
9^{na} CCIA, CUJAE, Marianao 15, Ciudad de la Habana, Cuba

<i>Cuota de inscripción:</i>	Profesores	100.00 USD
	Estudiantes	50.00 USD
	Acompañantes	50.00 USD

Acceso a Cuba

Para la organización de los paquetes turísticos y estancia en Cuba se ha designado a la Agencia de Viajes MERCADU-ISPJAE. Usted podrá coordinar su programa dirigiendo su solicitud a:

Lic. María Antonia Cruz Vázquez
Gerente de Viajes Especializados MERCADU-ISPJAE
Teléfono: (537) 20-2980/20-7967, Fax: (537) 33-2964
E-mail: btur@cujae.cu

¿Qué es lo que sugieren estos ejemplos para fomentar la creatividad en la educación? Si aceptamos la definición de creatividad que he indicado, debemos procurar que nuestros estudiantes estén expuestos a una variedad de disciplinas muy alejadas de la ingeniería química. Si la esencia de la creatividad es hacer algo nuevo o hacer algo de una forma novedosa, debemos dar a nuestros estudiantes las herramientas intelectuales necesarias, para familiarizarse con formas de pensamiento y con procedimientos de investigación. Dicho de forma sucinta, la creatividad es estimulada por la amplitud de conocimientos que sean diferentes de los que usamos en la ingeniería química. En nuestros experimentos, una propiedad se hará más evidente que la otra.

El argumento más común para tener esta amplitud intelectual es que, para el éxito profesional, un ingeniero químico debe no sólo ser técnicamente competente sino que debe familiarizarse con la economía y todas esas habilidades humanas que le permitan interactuar positivamente con una variedad de colaboradores y que, en general, llevan a una buena ciudadanía. Un argumento más es que nuestros alumnos no son sólo ingenieros químicos sino también seres humanos inteligentes que buscan ocupar sus horas de descanso con actividades agradables, y por lo tanto es apropiado incluir música, arte y literatura en un *curriculum* de ingeniería química. Sin quitar de ninguna manera el peso de estos argumentos, agregaré que esta amplitud es necesaria para la creatividad, no sólo para producir un Gibbs, un Freud o un Bohr —lo que es improbable— sino también para dar a nuestros alumnos una actitud amplia hacia los problemas que seguramente van a encontrar y para darles la capacidad de pensar más allá de la ingeniería química común, cuando se enfrenten a nuevos retos que no pueden resolverse por medio del saber convencional que contiene la ingeniería química.

En cualquier campo del esfuerzo humano, el progreso inevitablemente se obtiene pidiendo prestado a otro. Los grandes avances logrados recientemente en la medicina y en la biología se deben al progreso en la física experimental y la química analítica. Hoy, los doctores pueden diagnosticar patologías por medio de la técnica CAT que utiliza una tecnología de rayos X compleja, combinada con una computadora. Más aún, los descubrimientos recientes en la biología molecular prometen producir curas para enfermedades serias, lo cual sólo ha sido posible con los poderosos microscopios electrónicos, los

cromatógrafos refinados y los sensibles detectores de radiación de isótopos. De manera similar, haciendo caso omiso de las opiniones que tengamos del arte y la música modernas, reconocemos que las nuevas formas de arte que están apareciendo en los Estados

Para la educación con graduados, donde el *curriculum* es menos rígido debemos insistir en que nuestros estudiantes tomen otros cursos de alto nivel en otros departamentos

Unidos y en Europa, están influenciadas por los encuentros de nuestros artistas y músicos con las culturas no occidentales, notablemente las africanas, y con los artefactos, incluyendo a la computadora. Menciono todo esto sólo para hacer énfasis una vez más, que el progreso resulta de la fertilización cruzada y para subrayar que en cualquier área de la actividad humana, la novedad sólo se logra yendo más allá de las fronteras de esa área, por medio de la adopción de los logros en otras áreas.

Permítanme terminar reflexionando brevemente sobre cómo estas ideas generales de amplitud intelectual y la creatividad pueden ponerse en práctica, dadas las condiciones inevitables bajo las cuales debemos operar. En los programas de licenciatura, nuestra obligación educacional primordial es que nuestros alumnos sean competentes profesionalmente. Para lograr ese fin dentro de un número razonable de semestres, llenamos nuestros *curricula* con numerosos cursos, dejando poco espacio para la amplitud intelectual. Sospecho que hemos exagerado los requisitos específicos de los cursos y que por lo menos algunos de ellos están en nuestros *curricula* no porque sean verdaderamente necesarios, sino por la tradición (porque los profesores responsables del *curriculum* los tomaron cuando eran estudiantes) y porque cada profesor en el departamento insiste que su especialidad particular debe enseñarse a todos, porque le gusta enseñarla.

Si tomamos con seriedad el fomento de la creatividad en los estudiantes de licenciatura, debemos ser más flexibles con el *curriculum* y fomentar por lo menos en nuestros mejores estudiantes, la familiarización con los conceptos intelectuales con cuya exposición no todos los estudiantes se beneficiarán. Por lo tanto, deberemos tener flexibilidad para que nuestros estudiantes promedio hagan más o menos lo que hacen ahora, pero que al estudiante con mayor

potencialidad se le permita desviarse de la norma y dirigir por lo menos una parte de su imaginación hacia otras disciplinas intelectuales.

Para la educación con graduados, donde el *curriculum* es menos rígido debemos insistir en que nuestros estudiantes tomen otros cursos de alto nivel en otros departamentos. Por alto nivel, quiero decir cursos con contenido intelectual significativo; esto es, cursos que tomen los alumnos del último año de otras carreras, y no cursos generales diseñados para la educación general. Más aún, debemos fomentar la independencia y desarrollar la confianza personal insistiendo en que en el segundo año de su estudio de posgrado, nuestros estudiantes de doctorado pasen un examen oral donde propongan un proyecto de investigación original de una materia alejada de su tesis. El estudiante debe defender su investigación ante un comité de profesores, el cual debe incluir uno o dos colegas de departamentos diferentes al de ingeniería química. Exceptuando el requisito que el tema no esté relacionado con su tesis de maestría o doctorado, no debe haber ninguna restricción en lo que se refiere a la materia de la investigación propuesta. El punto importante es que el estudiante escoja el tópico de investigación él mismo, que reciba la guía mínima para preparar su defensa y que, al juzgar la propuesta, el jurado insista en estándares elevados de intelectualidad, sin tomar en cuenta la utilidad.

Dadas las metas orientadas hacia el trabajo del *curriculum* en ingeniería química, no es factible ni deseable que haya un cambio mayor en las disciplinas de la mayoría de los estudiantes de ingeniería química. Pero para aquellos estudiantes que tienen

Debemos tener flexibilidad para que nuestros estudiantes promedio hagan más o menos lo que hacen ahora, pero que los de mayor potencialidad puedan desviarse de la norma y dirigir parte de su imaginación hacia otras disciplinas intelectuales

potencial creativo, espero que podamos relajar nuestros intereses sectarios y los exponamos a panoramas intelectuales que no tengan nada que ver con la ingeniería química contemporánea pero que algún día, por medio de su genio inventivo, puedan ensanchar y enriquecer el dominio de nuestra profesión.