

UNA EXPERIENCIA DE
INCORPORACIÓN DE LA PERSPECTIVA
AMBIENTAL EN EL CURSO DE
INGENIERÍA AMBIENTAL PARA
INGENIEROS QUÍMICOS:
APRENDIZAJE COLABORATIVO

Dr. Pedro Medellín Milán

*Jefe del Centro de Investigación
y Estudios de Posgrado
Facultad de Ciencias Químicas de la UASLP*



ANEA A.C.



80 AUTONOMÍA
UNIVERSITARIA
AÑOS 1923 - 2003

Universidad Autónoma de San Luis Potosí
9 al 13 de Junio de 2003 San Luis Potosí, S.L.P. México
<http://ambiental.uaslp.mx/forosp/>

MEMORIA



I Foro Nacional sobre la
Incorporación de la
Perspectiva Ambiental
en la Formación
Técnica y Profesional

RESUMEN

La práctica docente del curso de Ingeniería Ambiental en el plan de estudios de Ingeniería Química ha sido un desafío debido a muchos factores “internos” (pedagógicos) y “externos” (complejidad del campo y práctica profesional de la producción, distribución y consumo).

Una primera dificultad es típica de la educación superior en general y de las ingenierías en particular respecto a los cursos de ecología y de medio ambiente que se añaden al currículum y es que el curso está aislado, no tiene antecedentes temáticos ni asideros claros con las áreas disciplinarias fuertes del plan;

Una segunda tiene que ver con los contenidos típicos de los cursos de Ingeniería Ambiental, y es que la cantidad y el tipo de materiales que se suelen asignar a un curso como este son demasiado abundantes y se relacionan con el monitoreo y el control de la contaminación, no con el diseño de procesos y productos ni con un enfoque preventivo.

Ambos antecedentes problemáticos se pueden superar si asumimos que un curso de ingeniería ambiental para ingenieros químicos debe estar dedicado a la prevención en los propios procesos y productos industriales, aunque también debe superar los conceptos convencionales de prevención. Una vez que nos ubicamos aquí, nos enfrentamos a los obstáculos del aprendizaje: la complejidad de naturaleza y sociedad y, por tanto, del conocimiento de lo ambiental, y lo complicado del vasto campo de los procesos industriales.

Nos pareció que lo más apropiado era abordar el análisis de varios procesos industriales clave, aplicando las metodologías de Balances de Materia y Energía y Análisis de Ciclo de Vida combinados con principios de toxicología ambiental y de la Química Verde y en el marco del Principio Precautorio y el Desarrollo Sostenible. El enfoque pedagógico se relaciona con el aprendizaje participativo y estructurado (colaborativo) en grupos de trabajo durante la clase (cálculos y deliberación con el apoyo del profesor) y fuera de clase (búsqueda de información y elaboración de materiales para su presentación en clase).

JUSTIFICACIÓN

La práctica docente del curso de Ingeniería Ambiental en el plan de estudios de Ingeniería Química ha sido un desafío debido a muchos factores “internos” (pedagógicos) y “externos” (práctica profesional del conocimiento, producción, distribución y consumo).

Las dificultades inician con dos antecedentes comunes que tienen que ver con los contenidos y con el plan:

El primero es típico de los currículos de educación superior en general y de los de ingeniería en particular en relación a los cursos de ecología y de medio ambiente que se añaden al curriculum, y es que el curso está aislado, no tiene antecedentes temáticos ni asideros claros con otros temas o cursos del plan;

El segundo tiene que ver con los contenidos típicos de los cursos de Ingeniería Ambiental, y es que la cantidad y el tipo de materiales que se suelen asignar a un curso como este son demasiado abundantes y se relacionan con el monitoreo y el control de la contaminación, no con el diseño de procesos y productos ni con un enfoque preventivo.

Ambos antecedentes problemáticos se pueden superar si asumimos que un curso de ingeniería ambiental para ingenieros químicos debe estar dedicado a hacer ejercicios de análisis y propuestas de prevención en los procesos de producción

AISLAMIENTO EN EL CURRÍCULUM, EFICACIA DE LA IA Y CARACTERÍSTICAS DE LA IQ.

Respecto al **aislamiento** dentro del curriculum, este curso tendría que ubicarse conceptualmente a sí mismo en la ecología, la química ambiental y la gestión ambiental. Pero es muy difícil hacer esto en forma clásica sin ocupar todo el curso en el intento, ni siquiera pensando sólo en los conceptos básicos.

Por otro lado, los **contenidos clásicos** de los cursos de ingeniería ambiental (IA) se refieren a cuestiones de restauración (eliminación de polvos de una chimenea, plantas de tratamiento de aguas, etc), o muestreo, medición y monitoreo de, por ejemplo, agua (cuerpos de agua y flujos industriales y urbanos) y aire (atmósfera y efluentes industriales y vehiculares), disposición de residuos. Un buen número de libros de IA, sobre todo los escritos por y para Ingenieros Civiles, dan cuenta de esto. Ver, por ejemplo, Ingeniería Ambiental de Gerard Kiely (1999). Tampoco habría tiempo para incluir la enorme variedad de temas que suelen conformar el currículum completo de una carrera de ingeniería ambiental, ni sería correcto tratar de cubrirlos.

Pero hay otro asunto más de fondo, y es si el curso para ingenieros químicos debería dirigirse a estas cuestiones de remediación, control, monitoreo y modelamiento que se asocian con medidas **al final del tubo** y, por ejemplo, a la evaluación de una contaminación que ya ocurrió. No se está cuestionando por ahora la importancia relativa de estas metodologías ambientales, pero sí reconocemos que por lo menos deberían ubicarse en el contexto y al servicio de soluciones de fondo. Un principio de la gestión ambiental es que se deben abordar siempre los problemas urgentes y las soluciones inmediatas en el marco de soluciones permanentes o sostenibles.

Esto es, por un lado muchos **cursos de ingeniería ambiental** fueron originalmente dirigidos a otras ingenierías y en el marco de la creencia de que los problemas ambientales podían abordarse con **remediación, simple buena administración o sistemas anticontaminantes**. Por otro lado, la materia esencial de la formación de un ingeniero químico es el diseño, operación y control de procesos, así como el diseño de sistemas físicos (maquinaria) para estos procesos. Si además consideramos que son precisamente estos procesos y productos industriales los causantes directos de muchos problemas de contaminación y deterioro ambiental, entramos de lleno en la materia de este curso.

EL ABORDAJE PEDAGÓGICO

Después viene el asunto del abordaje pedagógico, con dos principios:

- Lo particularmente inapropiado que es la enseñanza acumulativa en la ingeniería química, dado el universo amplísimo de los diferentes procesos productivos y los conocimientos básicos requeridos. Por eso la enseñanza de la IQ nunca pudo ser completamente enciclopedista;
- La particular conveniencia, por tanto, del aprendizaje activo y, dentro del aprendizaje activo, el ejercicio del aprendizaje colaborativo en el que pequeños equipos de estudiantes abordan el análisis de algún proceso productivo, nos parece el más apropiado para este curso.

El propósito es **aprender aplicando** las metodologías de Prevención de la Contaminación (P2 en inglés, PC en español) o Producción Más Limpia (P+L) (Cleaner Production Manual for Small to Medium Sized Enterprises, Version 2.0, 2001; Schaltegger, S., et al, 2003), darse cuenta de sus alcances y limitaciones, asociarlas a las metodologías de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) e intentar elaborar una propuesta eficaz y justificada de modificaciones al proceso. Como en todos estos problemas complejos, conforme avanzamos se abre un abanico muy amplio de opciones metodológicas y conceptuales imposibles de cubrir en un curso. Por eso el otro objetivo es desarrollar la capacidad de plantear preguntas importantes, escoger las que se contestan y aplicarse a contestarlas y dejar otras abiertas y sin resolver.

EL CONCEPTO DE PREVENCIÓN

El propio **concepto de prevención**, ampliamente aceptado en general, tiene diferentes acepciones.

- El concepto de prevención que ha adoptado el establecimiento industrial es uno de reducción **gradual y redituable** del uso y generación de sustancias

tóxicas/contaminantes en sus procesos, frecuentemente limitado a que simultáneamente disminuya la contaminación e impacto por un lado, pero también disminuya costos y/o aumente utilidades, por el otro. El **P2** (en el norte industrializado) o **P+L** (en el sur “en desarrollo”) son en general este tipo de versiones.

- Un **concepto eficaz de prevención** contribuye a la transición al desarrollo sostenible. Evita la generación de productos (sobre todo) y también de subproductos tóxicos contaminantes antes que primero dispersarlos al ambiente y después sostener la lucha imposible de conocer, controlar y remediar los daños, por ejemplo. El P2 o P+L asociados al Análisis de Ciclo de Vida, la Química Verde y otros, poco a poco caminan en esta dirección, pero no terminan de entrar de lleno a las necesaria sustitución de productos, cuyo diseño tendría que estar supeditado a los criterios de sostenibilidad social y ambiental. Una revisión, por ejemplo, de lo que se presentó en el último congreso del American Institute of Chemical Engineers (AIChE, 2003) dá una idea de lo inmaduro que está el campo.

El concepto radical de prevención y en última instancia el único válido desde la óptica de la sostenibilidad es el del **principio precautorio** (o principio de precaución), que satisface plenamente lo que deberíamos entender por prevención. El principio precautorio se ha definido y abordado de muchas maneras desde la Declaración de Río o Agenda 21. Uno mis favoritos es el contenido en la Declaración deWinstead que reporta Peter Montague en el boletín Rachel's (Montague, 2003): “El principio precautorio indica que, cuando hay evidencia científica plausible de daño significativo de una actividad propuesta o en operación, se deberían tomar acciones preventivas o correctivas para reducir o eliminar ese riesgo de daño, aún a pesar de la incertidumbre científica residual sobre relaciones de causa y efecto”.

Sobre la **implementación del principio precautorio**, Montague (2003) dice que “requiere una evaluación sobre como lograr las metas deseadas y encontrar las alternativas más seguras, con participación democrática y reversión en cuanto a quién lleva la carga de la prueba. Esto es, al proponente de una actividad le toca llevar la carga de evaluar su seguridad, así como de mostrar que es necesaria y que es la alternativa menos dañina. Las decisiones que afectan la salud pública y ambiental deben ser totalmente participativas.”

EL CURRÍCULUM

Estos antecedentes problemáticos se pueden superar en el **currículum** si asumimos que un curso de ingeniería ambiental para ingenieros químicos debe estar dedicado a la **prevención en los procesos de producción**. El trabajo del curso se orienta al análisis de algunos de los actuales procesos productivos para

encontrar rutas efectivas de P+L en las que se disminuyen la contaminación y los costos y se cuantifican los resultados. En seguida se aplican metodologías de Análisis de Ciclo de Vida para evaluar el impacto ambiental global del proceso y darse cuenta de que aún podemos tomar medidas importantes en términos ambientales, de salud y de sostenibilidad.

Existe mucha literatura que aborda este **campo emergente**. Sin embargo, si queremos diseñar el curso de esta manera, tendremos necesariamente que innovar y recrear cada método y cada concepto. Por ejemplo, se está conformando un campo innovador de análisis de procesos característico de la ingeniería química que se llama integración de procesos (EI-Halwagi, 2002). Actualmente estamos iniciando en la UASLP una experiencia de intercambio Mexico-Canadá-EUA entre seis Instituciones de educación superior y dos institutos de investigación alrededor de la herramienta de **Integración de Procesos**, pero con un enfoque flexible que incluye otras disciplinas como estadística y gestión ambiental.

LA TÉCNICA DEL APRENDIZAJE COLABORATIVO

No podremos abundar mucho en la técnica del aprendizaje colaborativo, que ha sido tratado extensamente en la literatura aunque sigue siendo una práctica innovadora y no muy difundida.

Según Johnson, Johnson y Smith (1991, en Felder y Brent, 1994) el **EI aprendizaje colaborativo (AC)** “es la instrucción que involucra a estudiantes que trabajan en equipos para lograr una meta común, bajo condiciones que incluyen los siguientes elementos”

- “Interdependencia positiva. Los miembros del equipo están obligados a confiar unos en los otros para alcanzar la meta. Si cualquiera no hace su parte, todos sufren las consecuencias.
- Rendición de cuentas individual. Todos los estudiantes en un grupo rinden cuentas de su parte del trabajo y por el dominio de todo el material que debió ser aprendido.
- Interacción directa entre los miembros del grupo. Algo del trabajo podrá parcelarse individualmente, pero también algo será interactivo, con miembros del grupo retroalimentándose, cuestionando las conclusiones y razonamientos de los otros y, tal vez más importante, enseñándose y animándose mutuamente.

- Uso apropiado de destrezas colaborativas. Se anima y se ayuda a los estudiantes a desarrollar y practicar confiabilidad, liderazgo, toma de decisiones, comunicación y habilidades de manejo de conflictos.
- Procesos de grupo. Los miembros del equipo establecen metas del grupo, evalúan periódicamente lo que están haciendo bien como equipo e identifican cambios que harán para funcionar más efectivamente en el futuro.”

La parte central del método AC es que es un **aprendizaje activo** que siempre es más efectivo que el tradicional o pasivo (Bonwell y Eison, 1991). Según Felder y Brent (1994) Se han visto otras ventajas importantes específicas del AC (Astin, 1993; Cooper *et al.*, 1990; Goodsell *et al.*, 1992; Johnson *et al.*, 1991; McKeachie, 1986) relacionadas con los resultados. Los estudiantes que aprendieron el método de AC:

- *Tienden a exhibir mayores logros académicos; mayor persistencia en los estudios; mejor capacidad de razonamiento y pensamiento crítico; entendimiento más profundo de lo aprendido; comportamiento más concentrado en la tarea durante la clase; menores niveles de ansiedad y estrés; mayor motivación intrínseca para aprender y alcanzar metas; mayor habilidad para ver desde las perspectivas de los otros; relaciones más solidarias con los colegas; y más alta autoestima. Otro beneficio no trivial para el instructor es que el número de trabajos que hay que calificar disminuye por un factor de tres o cuatro.*

NUESTRA EXPERIENCIA

Iniciamos el curso explicando el **trabajo en equipos** en modalidad colaborativa para analizar procesos de transformación con el propósito de diseñar medidas de prevención de la contaminación. Se requiere una introducción muy breve sobre la problemática y gestión ambiental sobre todo de la industria química, del devenir de los movimientos y las técnicas ambientales que se han aplicado, así como de los enfoques actuales de prevención del deterioro y la contaminación.

Es necesaria una **explicación preliminar** a los alumnos **sobre la técnica** del trabajo colaborativo y de su justificación y conveniencias, así como algunas advertencias sobre los problemas que se pueden encontrar, tales como: un problema no predefinido, dificultades para encontrar información, uso obligado de la Internet, complicaciones para reunirse, etc. Los estudiantes deben entender que el trabajo en equipo no es la sumatoria desarticulada de esfuerzos individuales; que por tanto se pueden distribuir tareas, pero todos deben entender todo el problema y por lo tanto conocer todos los materiales, ya sea porque los leen directamente o porque se discuten en equipo; que el trabajo en equipo debe ser

parejo y cada equipo debe resolver sus conflictos (aunque el maestro conocerá y resolverá los casos especiales); Enseguida se inicia el trabajo por equipos. Se forman los grupos, se selecciona el proceso en que trabajará cada equipo y se entregan documentos que permitan hacer el planteamiento del problema para entrar en materia lo antes posible en el semestre.

En nuestro curso, el trabajo se organiza por **etapas**. En la primera etapa los estudiantes presentan el planteamiento del problema con un análisis preliminar, cuyo avance no está rígidamente definido. En la segunda, se incluye toda la información y las propuestas que hayan encontrado en la literatura, con aportaciones propias, agotando el modelo de prevención de la contaminación o P+L. En la tercera, se amplía el análisis a un ACV preliminar, puesto que no alcanza el tiempo del curso para cubrir todos los pasos en forma extensa. En cada caso, la presentación se hace en forma oral y se entrega en Power Point con la modalidad de block de notas, de manera que incluya toda la información relevante que se dio en la presentación.

El trabajo final de los estudiantes se hará en una presentación de Power Point con la modalidad de block de notas, e incluye en cada caso:

- a) Un diagrama de flujo en el que se definen las cantidades de los flujos, derivados o verificados con un balance de materia y energía , tanto general como por pasos clave del proceso. La presentación por pasos es indispensable para incluir información en forma más detallada;
- b) Un recuento de los problemas (oportunidades) ambientales detectados en el proceso, una selección de los problemas que se van a abordar y las medidas propuestas, paso por paso y en forma global, tanto si estas propuestas son propias como si son de la literatura (es indispensable que se incluyan referencias y fuentes de cada información y propuesta citada). Las propuestas se deben justificar;
- c) Una evaluación del significado de cada medida propuesta y del conjunto, cualitativa y cuantitativa, tanto ambiental como económica. Esto se sintetizará en una matriz, para visualizar el conjunto;
- d) Una hoja de cálculos y cualquier otra información técnica extensa, en anexos;
- e) Problemas detectados en el ACV y propuestas preliminares; y
- f) Preguntas y cuestiones sin resolver.

Para elaborar este trabajo, son importantes los siguientes **puntos de referencia**:

- Los principales problemas ambientales de la industria en general (en cuanto a procesos y productos)
- El marco regulatorio (legal, normativo de residuos, descargas y emisiones; y efectos ambientales y en la salud)
- La caracterización de las transferencias ambientales de la actividad (residuos del proceso y del producto o productos y subproductos y sus efectos en el ambiente y en la salud) reportadas en la literatura, así como los intentos de disminuir los impactos ambientales.
- Las mejores tecnologías disponibles de prevención, minimización, reciclaje y tratamiento en cada caso, frecuentemente reportadas en el sitio de la EPA.
- Benchmarking (logros o “casos exitosos”)
- Efectos asociados a todos los insumos, materias primas, productos y subproductos que se han encontrado (Evaluación de Impacto Ambiental y Análisis de Ciclo de Vida)

Finalmente, comentamos algunos **problemas** que hemos tenido y que hay que superar en las siguientes versiones del curso, y tienen que ver con que:

- a) Los alumnos no tienen suficiente claridad sobre las tareas encomendadas desde el principio. Será necesario estructurar más las tareas y las metodologías y dar más material básico;
- b) El tiempo de clase es insuficiente para incluir todo: explicaciones, presentación de metodologías del profesor, discusiones, algo de trabajo en equipo en el salón de clase; ejercicios del método de aprendizaje colaborativo y presentaciones en extenso de los avances por parte de los alumnos. La solución más fácil a esto será que los alumnos hagan una sola presentación y, en su lugar, cada equipo haga las presentaciones preparatorias directamente al profesor en su computadora. El profesor revisará diapositivas y notas y cuestionará a los alumnos sobre el material presentado.

REFERENCIAS

AIChE (2003) **Green Chemical Engineering Topical Conference**, Conference Proceedings, 2003 Spring National Meeting, March 30-April 3, New Orleans, La.

- Astin, A. (1993) **What Matters in College: Four Critical Years Revisited**. San Francisco, Jossey-Bass,.
- Cooper, J., S. Prescott, L. Cook, L. Smith, R. Mueck and J. Cuseo, (1990) **Cooperative Learning and College Instruction**. California State University Foundation, Long Beach, CA.
- Cleaner Production Manual for Small to Medium Sized Enterprises, Version 2.0**, (2001), Centre of Excellence in Cleaner Production, Curtin University of Technology, Aus.
- Felder, R. M., Brent, R., (1994) **Cooperative Learning in Technical courses: Procedures, Pitfalls and Payoffs**, ERIC Document Reproduction Service Report ED 377038 (1994)
<http://www2.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/Coopreport.html>
- Goodsell, A., M. Maher and V. Tinto, **Collaborative Learning: A Sourcebook for Higher Education**. National Center on Postsecondary Teaching, Learning, and Assessment, University Park, PA, 1992.
- Johnson, D.W., R.T. Johnson and K.A. Smith, **Cooperative Learning: Increasing College Faculty Instructional Productivity**, ASHE-ERIC Higher Education Report No. 4, George Washington University, 1991.
- Kiely, G. (1999), **Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión**, McGraw-Hill / Interamericana de España, S. A. U.
- McKeachie, W., (1986), **Teaching Tips**, 8th Edition. Heath & Co., Lexington, MA pp. 46, 49, 120, 144-145, 196-200, 250.
- Montague, P. (2002), **The Year of Precautionary Action**, Rachel's Environmental and Health Newsletter #756, , 14 noviembre 2002, <http://www.rachel.org/bulletin/index.cfm?St=4>
- Schaltegger, S., Burrit, R., y Petersen, H., (2003), **An Introduction to Corporate Environmental Management. Striving for Sustainability**, Greenleaf Pub. Co., UK.

Este texto forma parte de la Memoria del



I Foro Nacional sobre la Incorporación de la Perspectiva Ambiental en la Formación Técnica y Profesional
9 al 13 de junio de 2003, San Luis Potosí, S.L.P., México
Sede: Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Programa y resúmenes disponible en:
<http://ambiental.uaslp.mx/foroslp/>

I N S T I T U C I O N E S C O N V O C A N T E S Y P A T R O C I N A D O R A S :

Agenda Ambiental de la [UASLP](#); Consorcio Mexicano de Programas Ambientales Universitarios para el Desarrollo Sustentable ([Complexus](#)); Programa Institucional de Medio Ambiente de la [Universidad de Guanajuato](#); Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior ([ANUIES](#)); Centro de Estudios sobre la Universidad de la Universidad Nacional Autónoma de México ([CESU-UNAM](#)); Secretaría de Educación Pública a través de las Subsecretarías de Educación Superior e Investigación Científica ([SEP-SESIC](#)) y de Educación e Investigación Tecnológica (SEIT); Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales ([SEMARNAT](#)) a través del Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable ([CECADESU](#)) y de la [Delegación Federal](#) de la Semarnat en SLP; Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental ([SEGAM](#)) del Gobierno del Estado de SLP; Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través del Sistema Regional de Investigación Miguel Hidalgo ([Conacyt-SIGHO](#)); Asociación Nacional de Autoridades Ambientales Estatales (ANAAE), Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica ([CIIDET](#)); Academia Nacional de Educación Ambiental ([ANEA, A.C.](#)); y Comisión de Educación y Comunicación (Mesoamérica) de la Unión Mundial para la Naturaleza ([CEC-UICN](#))