

Actualización en la enseñanza basada en competencias relacionadas con el desarrollo sostenible en asignaturas de tecnologías básicas de ingeniería química

Ma. Cristina Grasselli, Alejandra Tironi, Marisa S. Bais y Teresita Kessler*

Abstract

Different topics related to the environmental matter and to the control of possible causes of contamination have been being incorporated into the subjects of the Chemical Engineering career. However, sustainable development refers not only environmental themes but includes economical, social and cultural contents also. In this presentation, a number of activities corresponding to Thermodynamics and Physical Chemistry are presented. They inform the future professional about the basics of sustainable development. The student strengthens and integrates the theoretical and practical aspects of the different curricula units meanwhile he acquires capacities to sustain competencies that will shape his integral formation. The capacities related to the environmental impact such as ethic considerations, responsibility and social compromise are specially emphasized. The performance indicators must be seriously established and communicated to the students to make fruitful this venture. A time for discussion based in the theoretical aspects is also guarded for topics such as the renewable energy systems, the ozone problem, the rational use of materials and its waste.

Keywords: Competencies, Sustainability, Physical Chemistry, Thermodynamics.

Resumen

En las diferentes materias que conforman el plan de la carrera de Ingeniería Química se han ido incorporando diversas cuestiones relacionadas especialmente con el cuidado del medio ambiente y el control de las posibles causas de contaminación. Sin embargo, el desarrollo sostenible involucra contenidos no solo ambientales sino además aspectos económicos, sociales y culturales. En esta presentación se describen diversas actividades que se realizan en las cátedras de Termodinámica Química y Fisicoquímica, tendientes a concientizar al futuro profesional de la ingeniería en premisas que hacen al desarrollo sostenible. Durante el desarrollo básico de las mencionadas tareas, el estudiante va consolidando e integrando los contenidos teórico-prácticos de las diferentes unidades curriculares y, simultáneamente, va adquiriendo capacidades para el desarrollo de competencias relacionadas con su formación integral. Interesan específicamente, aquellas que se refieren a actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto ambiental, entre otras. Los indicadores de logro deben ser cuidadosamente establecidos e informados a los estudiantes para que el trabajo sea provechoso. Se busca, además, destinar un tiempo a la discusión fundada de temas tales como el impacto de las nuevas fuentes de energía, la necesidad de preservar la capa de ozono, el uso racional de los materiales.

Palabras clave: Desarrollo sustentable, Competencias, Fisicoquímica, Termodinámica Química

1. Introducción

El plan de estudios de la carrera de Ingeniería Química presenta una estructura compacta de asignaturas que el estudiante debe aprobar para obtener su título terminal [1]. El número total de horas es de 3540, que se encuentran distribuidas en las diferentes áreas como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. **Bloques curriculares y número de horas establecido**

Bloques curriculares	Carga horaria
Ciencias Básicas	1350
Tecnologías básicas	810
Tecnologías aplicadas	1140
Complementarias	240

En el tiempo asignado a cada materia, los docentes están dedicados a transmitir los conocimientos específicos en forma didáctica estableciendo bases sólidas que les permitirán seguir adelante con seguridad. Al mismo tiempo, están pendientes del desarrollo de una serie de competencias tecnológicas, sociales y actitudinales que contribuyen al perfil de egresado establecido por la institución.

Las problemáticas relacionadas con los temas energéticos y medioambientales están presentes, directa ó indirectamente en las diferentes materias de la carrera, que están interrelacionadas por una red de correlatividades y concertadas a través de las coordinaciones horizontal y vertical. Los estudiantes son informados en diversas cuestiones a efectos de cuidar el medio ambiente y controlar en lo posible las causas de contaminación.

En esta presentación se describen algunas actividades que se realizan en las cátedras de Termodinámica Química y Fisicoquímica, en las que el estudiante va consolidando e integrando contenidos de diferentes unidades curriculares. Al mismo tiempo, adquiere capacidades para el desarrollo de competencias relacionadas con su formación integral, específicamente aquellas que se refieren a actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto ambiental. Se escogen varias competencias científico-tecnológicas y actitudinales que son desgranadas en capacidades que los docentes quieren fortalecer. De éstas últimas, se detallan los indicadores de logro que permitirán evaluar el grado de avance que el estudiante ha alcanzado en la aprehensión y el afianzamiento de las competencias antes mencionadas.

Este trabajo está ordenado de la siguiente manera. En la sección 2 se presenta sucintamente la importancia que cobra el desarrollo de competencias para el desarrollo sustentable en las carreras universitarias en general y en Ingeniería Química en particular. La sección 3 describe el aporte que se ha realizado en el campo mencionado, detallando algunos ejemplos de lo realizado en el trabajo áulico. Algunas consideraciones finales son presentadas en la sección 4. Finalmente las conclusiones son expuestas en la sección 5.

2. Antecedentes: Competencias para el desarrollo sustentable

La educación para la sostenibilidad es considerada un proceso continuo de producción cultural dirigido a la formación de profesionales comprometidos con la búsqueda permanente de las mejores relaciones posibles entre la sociedad y el medio ambiente para la pervivencia de ambos [2]. En este sentido, la UNESCO está gestionando la llamada “Década de la educación para el desarrollo sustentable” entre 2005-2014 fundada en las declaraciones de la ONU del 2002. Sin duda, la sustentabilidad interrelaciona en una red aspectos ambientales con otros económicos, sociales y culturales que hacen al desarrollo humano.

La educación enfocada hacia el desarrollo sustentable debe sostenerse y desarrollarse en competencias (relacionadas con el SABER), capacidades (que involucran el SABER HACER) y valores (que incluyen dimensiones afectivas y éticas), todo ello trabajado en su conjunto en un proceso continuado.

En el caso particular de la formación universitaria, Minguet y Solís [2] afirman que: ésta *“debería facilitar una comprensión central de la sostenibilidad, para que los estudiantes sean capaces de transferir esta perspectiva en sus futuras actividades profesionales”*. Para lograr esto, sostienen que *“los estudiantes universitarios tendrían que formarse en sus campos de especialización de acuerdo con criterios y valores relacionados con la sostenibilidad”*.

Es así que los diseños curriculares de las diferentes carreras habrían de incluir contenidos –cognitivos, procedimentales y actitudinales–, metodologías y prácticas que preparen explícitamente en las competencias sostenibilizadoras, acordes con el correspondiente perfil de egresado.

Particularmente, el Ingeniero Químico, deberá desarrollar competencias que le permitan adaptarse a los cambios tecnológicos en los equipos, en los procesos, en los productos, en los materiales utilizados, en la relación industria-medio ambiente, en las condiciones económicas y de mercado. Así, estos profesionales proyectan, evalúan, diseñan, construyen, y operan instalaciones a escala experimental y/o industrial destinadas a procesos de producción con atención al bienestar humano y a la protección del medio ambiente. Por su formación técnica y por su campo

específico de acción, deben estar preparados para ser un poderoso factor de progreso, contribuyendo constantemente a mejorar las condiciones socioeconómicas del medio, como así también los aspectos sociales del ejercicio profesional, la capacidad para el trabajo en equipo, la interdisciplina y el compromiso regional [1].

3. Metodología del trabajo de cátedras

El estudiante debe estar concientizado que el planeta tierra es un sistema global en el que todo está relacionado y que existe una dinámica de los sistemas naturales. Las actividades que se realizan habitualmente en el tiempo curricular están diseñadas de manera tal que brinden un espacio para el análisis, la reflexión y la discusión de los aspectos medioambientales involucrados en la temática teórica presentada. Es así que durante las mismas se relacionan los conocimientos específicos de las asignaturas base con la interacción y afectación que el Hombre realiza sobre el medio ambiente.

3.1 Termodinámica Química

Esta asignatura está dedicada fundamentalmente a los aspectos relacionados con la energía y sus transformaciones. Las diferentes unidades del programa incluyen entre otros temas la primera y segunda ley de la termodinámica, equilibrio de fases, psicrometría, máquinas térmicas, termodinámica en soluciones [3,4]. En su desarrollo, se discuten cuestiones relacionadas con la imperiosa necesidad de cuidar la energía en sus distintas formas y el concepto de exergía, el desarrollo de fuentes de energía alternativas y su rendimiento en comparación con el teórico termodinámico, el equilibrio de fases y su relación con el tratamiento de efluentes, y la propuesta de la llamada cuarta ley de la termodinámica ó ley del medio ambiente.

3.1.1 Exergía

El desarrollo de sistemas térmicos que utilicen eficazmente los recursos energéticos, como el petróleo y el carbón, ha cobrado gran importancia tanto por ser los principales combustibles de fuentes no renovables como sobre el impacto que se causa sobre el medio ambiente al utilizarlos. La eficacia de su uso en un sistema específico se determina con las dos primeras leyes de la termodinámica [3,4]. Así, la energía que entra en un sistema con el combustible, electricidad, flujos de materia, y otros, está presente en los productos finales de un sistema dado, porque la energía no se destruye conforme a lo establecido por la Primera Ley de la Termodinámica.

Por otra parte, la capacidad de obtención de trabajo útil a partir de una misma cantidad de energía depende en la forma en que ésta se presente. Aparece así, el concepto de “calidad de la energía”, que puede definirse como la capacidad de originar una transformación. Esta característica depende del modo en que se almacena la forma de energía considerada. El almacenamiento puede ser ordenado o aleatorio en mayor o menor grado. Dado que la entropía refleja el desorden de un sistema, es de esperar que pueda ser aplicada para determinar la medida en que se presenta una forma de energía ordenada, evaluando la cantidad de energía utilizable que se puede obtener. Precisamente es éste el campo de acción de la Segunda Ley de la Termodinámica.

La exergía es un parámetro que evalúa la calidad de la energía, a partir del trabajo útil máximo que puede obtenerse del sistema en un estado y un ambiente especificados. Por otra parte, la exergía permite analizar el desperdicio de los recursos en las actividades de una sociedad, estableciendo pautas cuantitativas para su ahorro y su uso eficiente. Dentro de este marco, los alumnos resuelven problemas que le permiten comprender el concepto de exergía dado que han incorporado previamente el concepto de entropía y la noción de potencial químico, además de los conocidos conceptos de presión y temperatura. Es por ello interesante incluir en esta clase práctica preguntas motivadoras que lleven a la opinión fundada de ideas.

3.1.2 Rendimiento en relación con el teórico termodinámico

Durante el transcurso de la asignatura, se estudia el rendimiento energético definido como el cociente de la energía de salida o útil y la energía de entrada al dispositivo. Dado que el rendimiento energético no siempre refleja el grado de perfección en el funcionamiento de un equipo, se introduce el concepto de eficiencia en la segunda ley de la termodinámica. El análisis exergético es especialmente adecuado para lograr aumentar el rendimiento del sistema. Se aplican los balances exergéticos a sistemas cerrados y de flujo estable. Se calcula la eficiencia de la segunda ley en dispositivos productores de trabajo y en consumidores de trabajo [3,4].

3.1.3 Sistema ternario

Considerando el marco de los conceptos de desarrollo sustentable, el estudio de los equilibrios de fases puede ser ejemplificado como aplicable en el manejo de las aguas asociadas a efluentes industriales, dentro de un marco ambiental y técnico factible. Al mismo tiempo, su utilización permite cálculos para la recuperación de solutos para su posterior aprovechamiento en diferentes procesos industriales. La currícula de la asignatura incluye el trabajo experimental con sistemas binarios y

ternarios, determinando curvas de miscibilidad en función de la temperatura y de la composición así como líneas de enlace. Estos resultados se emplean para estimar posibles métodos de separación y purificación [5,6].

3.1.4. Cuarta Ley de la Entropía

Se efectúan comentarios sobre la dinámica que existe en las ciencias. En 1970 se comenzó a considerar la Cuarta ley de la Termodinámica, propuesta para explicar el crecimiento en los sistemas ecológicos, entendiéndose por crecimiento el aumento en el tamaño del sistema, que puede ser medido como una masa ó una energía por unidad de tiempo [7]. Ese aumento de tamaño no debe ser confundido con desarrollo, que implica una mayor organización independientemente del tamaño. Uno de los enunciados propuestos para la cuarta ley establece que los sistemas aumentan su entropía a la máxima velocidad a que puedan realizar el cambio. Puede ser aplicado a todo sistema que está cambiando, esté ó no cerca del equilibrio. Toda esta información puede ser considerada como disparadora de interesantes discusiones grupales moderadas por el docente tales como que un sistema que crece está fuera del equilibrio y las posibilidades que tiene de realizar trabajo.

3.2 Físicoquímica

En Físicoquímica se pueden considerar cuatro bloques de conocimiento, a saber: equilibrio químico, cinética de las reacciones, fenómenos de superficie y catálisis, electroquímica [5,8,9]. En todos ellos se incluyen tareas con relación al desarrollo sustentable. Entre las actividades que se realizan se pueden mencionar las siguientes: un trabajo práctico integrador relacionado con la reacción entre oxígeno e hidrógeno, analizando aspectos termodinámicos y cinéticos, llegando a discutirse temas como la disminución de la contaminación ambiental por aplicación de la llamada “economía del hidrógeno”; el análisis de mecanismos cinéticos basado en la acción de los halógenos sobre el ozono; discusiones relacionadas con la energía nuclear y sus implicancias en el tema de cinética de reacciones complejas; trabajo práctico de laboratorio de adsorción enfatizando sobre la aplicación de esta operación en el tratamiento de efluentes.

3.2.1 Aspectos termodinámicos y cinéticos de la reacción entre oxígeno e hidrógeno

Se presenta al alumno un trabajo práctico que lo lleva a realizar una búsqueda bibliográfica de la base teórica de la reacción entre el oxígeno y el hidrógeno

y a analizar los mecanismos de reacción propuestos [10]. Utilizando sus conocimientos sobre termodinámica y cinética de reacción, el alumno calcula no sólo concentraciones de productos intermedios, sino también analiza condiciones de presión y temperatura que serían causales de explosión de ser utilizada esta reacción global en una celda de combustible. Así, el alumno visualiza una aplicación de los conceptos teóricos aprendidos, tomando conciencia de la responsabilidad en la realización de los cálculos dada la magnitud de los daños que pueden producirse por errores en los mismos y analizando los productos obtenidos y su impacto sobre medio ambiente en comparación con la utilización de otras celdas.

3.2.2 Acción de los halógenos sobre el ozono

El alumno puede investigar acerca de la importancia del ozono en el control del calentamiento de la estratosfera y el clima en la tierra, además de protección de la biosfera de la radiación ultravioleta. Además, aplica los conocimientos adquiridos en cinética y mecanismos de reacción para comprender la destrucción fotolítica del ozono y su reacción con átomos de O. Por medio del ciclo de Chapman propuesto en 1930 [11], el cual da una explicación teórica de la capa de ozono en la estratosfera, determina la altura a la cual se producirán el máximo de temperatura y la máxima concentración de ozono. Una vez que incorpora estos conceptos, se plantea la posible alteración de las 4 reacciones que componen el ciclo por la presencia de catalizadores como los compuestos clorofluorcarbonados. Asimismo, se guía al alumno a recopilar información y sacar conclusiones sobre el descubrimiento de la presencia de los mismos en la estratosfera en 1974, las fuentes de generación, además de analizar cuestiones fisicoquímicas como la solubilidad y volatilidad. Se justifica lo determinado a partir del mecanismo que compite con el ciclo y rompe el cuasi- equilibrio, analizando los valores de las constantes cinéticas de las diferentes etapas y la acción catalítica del Cl.

3.2.3 Desintegración radioactiva

Dentro del estudio de las reacciones consecutivas de primer orden, se toma como ejemplo la desintegración de una familia radioactiva, como $^{239}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Np} \rightarrow ^{239}\text{Pu}$ [5]. Se establece la ecuación de velocidad neta de cambio de cada sustancia, se determina la especie intermediaria, a partir de quien se forma y el producto originado por su desintegración.

Se realiza el análisis gráfico a partir de los perfiles de concentración de las especies intervinientes, calculando el máximo del intermediario y su relación con

el valor de las constantes de velocidad involucradas. Se emplean analogías en un trabajo experimental, para una mejor comprensión de la etapa determinante de la velocidad de reacción. Se concluye con el análisis de la importancia de conocer la etapa determinante de la velocidad, su relación con la constante cinética y la posibilidad de tomar decisiones una vez que ésta es establecida.

3.2.4 Adsorción

Se realiza un trabajo práctico de laboratorio una vez que el alumno ha asimilado los conceptos teóricos y ha resuelto el seminario de problemas correspondiente al tema en cuestión. Para su ejecución, el alumno investiga sobre el tema adsorción en fase acuosa, debido a que en la bibliografía se encuentra principalmente lo relacionado a adsorción en fase gaseosa [9]. Una vez que comprende el fenómeno en fase acuosa, puede realizar la experiencia, cuyo objetivo es disminuir la concentración de ácido acético en solución utilizando carbón activado como adsorbente. A partir de los resultados obtenidos y el procedimiento empleado, analiza:

- el manejo de datos en las isothermas de adsorción y discute su importancia para el diseño de procesos;
- la diferencia entre las distintas isothermas, desarrollando criterios para la selección de la que corresponde al sistema estudiado.

Además, busca y analiza otras situaciones en las cuales se utiliza la adsorción para el tratamiento de efluentes, la importancia de los adsorbentes y su selección, aspectos a considerar cuando se producen en una empresa residuos líquidos y/o gaseosos, la importancia del tratamiento de los mismos, la responsabilidad sobre éstos y el aporte del desarrollo de adsorbentes y/o catalizadores en este tema.

4. Descripción de la aplicación de competencias-capacidades-logros

Considerando los dos grandes grupos de competencias en Ingeniería [12], las correspondientes a las llamadas científico-tecnológicas y las enmarcadas en sociales-políticas-actitudinales, el cuerpo docente de las cátedras busca desarrollar las capacidades relacionadas y está atento a los indicadores de logro previstos. Estos últimos son señales que se ponen en evidencia en las tareas que el estudiante realiza en forma habitual, y permiten conocer si se han

alcanzado con éxito los objetivos perseguidos [Tabla 2]. Fundamentalmente se busca fortalecer el compromiso ético, con el medio ambiente y con la calidad, cimentando conceptos tales como uso racional de la energía y el cuidado del medio ambiente.

También es sumamente importante todo aquello relacionado con las destrezas intelectuales que le permiten al estudiante desarrollar entre otras,

- el pensamiento crítico y evaluador, relacionando correctamente el conocimiento científico a situaciones diversas, seleccionando los elementos básicos de las problemáticas.
- la creatividad, que lo llevará a imaginar caminos alternativos, a reconocer distintos aspectos al analizar una situación, a prestar atención a los detalles.
- el pensamiento hipotético-deductivo, para reconocer falencias, elaborando argumentaciones, llegando a conclusiones fundadas.

El conjunto de las capacidades y destrezas contribuirán a que nuestro estudiante vaya adquiriendo paulatinamente fortalezas en su desempeño académico y que este futuro profesional enfrente con prestancia los cambios dinámicos que el país necesita en su desarrollo socio-económico.

5. Recomendaciones Finales

Utilizando competencias es posible introducir saberes, destrezas y actitudes relacionadas con el medio ambiente y su cuidado favoreciendo en los estudiantes una conciencia ecológica fundada en el conocimiento disciplinar que les permitirá cumplir, una vez graduados, la misión medioambiental que requiere la sociedad futura.

A partir de este enfoque, los estudiantes han mostrado interés por las distintas cuestiones medioambientales analizadas y por la importancia que adquiere considerarlas en sus acciones cotidianas actuales y como futuros profesionales de la ingeniería. Al momento, los indicadores de logro de las competencias son registrados para información interna de las cátedras; sin embargo se está considerando la posibilidad de incorporarlos a la nota final de la asignatura.

Tabla 2. **Competencias, capacidades e indicadores de logro que guiaron el trabajo áulico**

COMPETENCIAS	CAPACIDADES El estudiante debe ser capaz de...	INDICADORES DE LOGRO El estudiante...
Para resolver problemas.	<ul style="list-style-type: none"> -identificar el problema. -buscar soluciones. -seleccionar la alternativa más adecuada. -implementar la alternativa de solución. 	<ul style="list-style-type: none"> - identifica y organiza los datos pertinentes. - delimita el problema y lo formula de manera clara y precisa. - relaciona e integra conocimientos de diferentes disciplinas reconociendo el impacto medioambiental. - propone distintas alternativas de solución. - considera el impacto ambiental y social de las alternativas. - selecciona la solución más adecuada.
Para gestionar las distintas actividades propuestas.	<ul style="list-style-type: none"> -planificar y ejecutar tareas. -operar y controlar las diferentes etapas. 	<ul style="list-style-type: none"> - identifica los recursos necesarios para la actividad. - administra los tiempos para el cumplimiento de las tareas. - observa cambios y toma decisiones. - informa los resultados obtenidos. - respeta normas técnicas, de seguridad e higiene y de calidad.
Para utilizar de manera adecuada diferentes técnicas y herramientas.	<ul style="list-style-type: none"> -conocer alcances y limitaciones. -respetar los estándares y normas de calidad, seguridad y medio ambiente. -tener en cuenta las recomendaciones de los docentes. 	<ul style="list-style-type: none"> - se informa de los alcances y limitaciones. - usa correctamente las técnicas.

(Continúa de página anterior)

COMPETENCIAS	CAPACIDADES El estudiante debe ser capaz de...	INDICADORES DE LOGRO El estudiante...
Para desempeñarse de manera efectiva en trabajos grupales.	<ul style="list-style-type: none"> - respetar los compromisos contraídos con el grupo y la cátedra. - reconocer y atender los diferentes puntos de vista de los otros y llegar a acuerdos. 	<ul style="list-style-type: none"> - respeta los horarios de clase. - participa y colabora con las tareas indicadas por el docente y/o acordadas en la distribución de tareas grupales. - entrega informes en tiempo y forma. - escucha a los demás y negocia para alcanzar consensos.
Para actuar con ética, responsabilidad y compromiso social considerando el impacto social y ambiental de las actividades que realiza.	<ul style="list-style-type: none"> - escuchar y respetar los puntos de vista de sus pares y docentes para la resolución de cuestiones que se les presenten. - identificar responsabilidades individuales y colectivas y actuar de acuerdo a ellas. 	<ul style="list-style-type: none"> - está atento a las indicaciones. - es tolerante y honesto en sus actos. - acepta opiniones. - contribuye personalmente al orden en las tareas de laboratorio respetando pautas de trabajo.

6. Conclusiones

Este tipo de actividades motiva a los estudiantes, dado que encuentran aplicaciones prácticas, algunas relacionadas con el quehacer diario y otras que están aún en proceso de investigación y desarrollo. Por otra parte, permite desarrollar competencias tales como, el espíritu crítico, la discusión fundada, la investigación en diversas fuentes, la responsabilidad medioambiental. Estas competencias son imprescindibles tanto para el ejercicio profesional como para su responsabilidad ciudadana.

Agradecimientos

Las autoras agradecen a SECyT-UNCPBA. TK es miembro de la carrera de Investigador CIC.

Referencias

- [1] http://www.fio.unicen.edu.ar/principal/carreras_grado_quim.html. Fecha consulta abril 2010.
- [2] P. A. Minguet, M.A. Ull Solís, La formación de competencias para el desarrollo sostenible: el papel de la Universidad, *Revista de Educación* (2009) 219-237.
- [3] J.M. Smith, H.C. Van Ness, *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*, McGraw Hill, 1987.
- [4] Y.A. Cengel, M.A. Boles, *Termodinámica*, Mc Graw Hill, 1996.
- [5] P.W. Atkins, *Fisicoquímica*, Addison-Wesley Iberoamericana S.A., 1991.
- [6] R. H. Ewell, J. M. Harrison, L. Berg, Azeotropic Distillation, *Ind. Eng. Chem.* (1944) 36, 871-875.
- [7] S.E. Jorgensen, Y.M. Svirezhev, *Towards a Thermodynamic Theory for Ecological Systems*, Pergamon, 2004.
- [8] I.N. Levine, *Fisicoquímica*, Vol 1 y 2, McGraw Hill, 1997
- [9] S.Glasstone, *Tratado de Química Física*, Aguilar S.A., 1961.
- [10] R. Bailey, H. Clark, J. Ferris, S. Krause, R. Strong, *Chemistry of The Environment*, Academic Press, 2002.
- [11] S.R. Logan, *Fundamentos de cinética química*, Addison Wesley, 2000.
- [12] CONFEDI, Competencias Genéricas de Ingeniería - Documento Final, http://www.confedi.org.ar/component/option,com_docman/task,catalog_view/gid,20/Itemid,44/. Fecha consulta abril 2010.

