

Desarrollando pensamiento químico en contextos sociales y ambientales

Desenvolupant pensament químic en contextos socials i ambientals

Developing chemical thinking in social and environmental contexts

Vicente Talanquer / Universidad de Arizona. Departamento de Química y Bioquímica (Tucson, AZ, EE. UU.)



resumen

En este trabajo se describe una propuesta educativa alternativa para la enseñanza de la química general a nivel universitario. El currículo se centra en el desarrollo de formas de pensamiento químico útiles para resolver problemas en contextos sociales y ambientales. En particular, las metas educativas se dirigen a preparar estudiantes que puedan identificar el tipo de preguntas que la química nos ayuda a responder, los recursos intelectuales y experimentales existentes para enfrentar tales retos y los costos y beneficios de usar la química para resolver nuestros problemas.

palabras clave

Currículo, enseñanza, química en contexto, química general, pensamiento químico.

resum

En aquest treball es descriu una proposta educativa alternativa per a l'ensenyament de la química general en l'àmbit universitari. El currículum se centra en el desenvolupament de formes de pensament químic útils per resoldre problemes en contextos socials i ambientals. En particular, les metes educatives s'adrecen a preparar estudiants que puguin identificar el tipus de preguntes que la química ens ajuda a respondre, els recursos intel·lectuals i experimentals existents per afrontar aquests reptes i els costos i beneficis d'utilitzar la química per resoldre els nostres problemes.

paraules clau

Currículum, ensenyament, química en context, química general, pensament químic.

abstract

This work describes an alternative educational approach for the teaching of general chemistry at the college level. The curriculum is focused on the development of chemical ways of thinking that are useful for solving problems in social and environmental contexts. In particular, the educational goals are directed at preparing students who can identify the types of questions that chemistry helps us answer, the intellectual and experimental resources that are available to face such challenges, and the costs and benefits of using chemistry to solve our problems.

keywords

Curriculum, teaching, chemistry in context, general chemistry, chemical thinking.

Introducción

En los últimos treinta años, muchas de las discusiones sobre enseñanza de la química en los

niveles preuniversitarios se han enfocado a tratar de resolver la tensión entre enfoques didácticos que enfatizan el aprendizaje de

conceptos y habilidades centrales en la disciplina y abordajes educativos que privilegian la contextualización del conoci-

miento y la alfabetización científica de la ciudadanía (Eilks et al., 2013; Vilches y Gil Pérez, 2013). Los estándares educativos, los abordajes curriculares y la investigación educativa desarrollados en este período reflejan la búsqueda de alternativas que resuelvan la tensión entre lo que muchos docentes perciben como visiones dicotómicas en la enseñanza de las ciencias (Talanquer, 2012). Sin embargo, hoy es relativamente fácil distinguir entre proyectos curriculares que privilegian el desarrollo y la aplicación de conocimientos y habilidades científicas para generar explicaciones de fenómenos naturales y proyectos que se enfocan a la preparación de ciudadanos responsables con la capacidad de tomar decisiones informadas en cuestiones sociales y ambientales relacionadas con ciencia y tecnología.

Los debates sobre enseñanza para la formación científica o para la formación ciudadana han sido mucho menos intensos a nivel universitario. En general, los docentes e investigadores universitarios en las áreas de ciencias e ingenierías enfocan sus esfuerzos a la enseñanza de lo que conciben como conceptos y habilidades centrales en cada disciplina, con poca discusión, reflexión o evaluación sobre su relevancia más allá de las aulas. Por lo menos en los Estados Unidos, los abordajes contextualizados en la enseñanza de las ciencias se han visto relegados a cursos introductorios destinados a estudiantes de ciencias sociales, artes y humanidades. Ese ha sido el destino, por ejemplo, del proyecto «Química en contexto», de la Sociedad Americana de Química (Eubanks et al., 2009), el cual ha tenido un impacto muy limitado en la enseñanza de cursos de química para estudiantes de ciencias e ingenierías.

La falta de cuestionamiento, discusión y reflexión sobre los objetivos y el enfoque de los cursos de ciencias a nivel universitario es problemática en varios niveles. Por un lado, se desconoce la necesidad de preparar profesionales éticos y responsables con la capacidad de evaluar los beneficios, costos y riesgos sociales y ambientales de sus decisiones y actividades. Por otro lado, se desperdicia la oportunidad de involucrar a los estudiantes en el análisis, investigación, explicación y discusión de problemas relevantes, lo que se ha demostrado que tiene un impacto positivo tanto en la motivación como en el aprendizaje. Adicionalmente, se desconoce que, particularmente en cursos introductorios, la mayoría de los estudiantes no elegirán convertirse en profesionales de la disciplina y, por tanto, se beneficiarían de una enseñanza que los ayudaría a identificar la relevancia de lo aprendido en contextos diversos.

La falta de cuestionamiento, discusión y reflexión sobre los objetivos y el enfoque de los cursos de ciencias a nivel universitario es problemática en varios niveles

Dada esta problemática, en años recientes hemos trabajado en el desarrollo de una alternativa para la enseñanza de la química general a nivel universitario en los Estados Unidos. El curso de química general es un requisito para la mayoría de los estudiantes de carreras de ciencias e ingenierías y tiene una duración de un año (dos semestres académicos consecutivos). Nuestro objetivo central ha sido la creación de un currículo

centrado en el desarrollo de formas de pensamiento químico de gran utilidad en el análisis y la resolución de problemas relevantes en contextos variados (Talanquer y Pollard, 2010). La propuesta curricular busca encontrar un balance apropiado entre el énfasis en el aprendizaje de ideas y habilidades centrales en química y el desarrollo de capacidades para aplicar tal conocimiento al análisis de problemas con relevancia social y ambiental. En las siguientes secciones de este artículo se describen las características esenciales de nuestra propuesta educativa y se presentan resultados sobre su impacto en el aprendizaje y la motivación de los estudiantes involucrados.

Desarrollando pensamiento químico

La mayoría de los cursos de química general a nivel universitario en los Estados Unidos siguen la misma secuencia temática, presentando conocimientos fundamentales de química de manera escalonada y segmentada: estructura atómica, enlace químico, estructura molecular, estados de la materia, disoluciones acuosas, cinética química, termodinámica, equilibrio químico, etc. (Lloyd, 1992). Los objetivos de aprendizaje se centran en la adquisición de un conjunto de conocimientos y habilidades específicos considerados fundamentales en la química escolar tradicional: balancear ecuaciones químicas, establecer configuraciones electrónicas de átomos e iones, escribir estructuras de Lewis, realizar cálculos estequiométricos, calcular concentraciones al equilibrio, etc. La utilidad y la relevancia de dichos conocimientos y habilidades son poco discutidas y tienden a presentarse, a través de viñetas cortas, preguntas o problemas, al inicio o al final de cada tema.

La «escalera» temática de los cursos de química general tradicionales contrasta con la organización en forma de «telaraña» temática de los currículos de química en contexto (Schwartz, 2006). En estos casos, el currículo comúnmente se organiza alrededor de problemáticas relevantes tales como calentamiento global, fuentes alternativas de energía y contaminación ambiental, introduciendo ideas y conceptos químicos específicos que resultan de utilidad para comprender y reflexionar sobre los temas de interés. Aunque existen diversos enfoques educativos, es común que los objetivos de aprendizaje en este tipo de currículos se centren en el desarrollo de capacidades para analizar problemas sociales y ambientales desde una perspectiva química, así como para construir argumentos y tomar decisiones justificadas con base en información fiable y la aplicación de principios químicos fundamentales (Burmeister, Rauch y Eilks, 2012).

De manera general, ambos tipos de abordajes curriculares enfatizan la adquisición de conocimientos especializados, ya sea de química básica (¿cuál es la estructura de un átomo?, ¿qué distingue los diferentes tipos de enlace químico?) o sobre los contextos bajo análisis (¿qué sustancias son gases invernadero?, ¿qué causa la destrucción de la capa de ozono en nuestro

planeta?). Una de las diferencias centrales de nuestra propuesta educativa es que nuestro interés se centra más en el desarrollo de formas de pensamiento químico que resultan de utilidad para resolver problemas relevantes en contextos variados que en la adquisición de conocimientos especializados sobre ciertos temas. En nuestro trabajo, *pensamiento químico* se define como «el desarrollo y la aplicación de conocimientos y habilidades químicos con el fin de analizar, sintetizar y transformar la materia con fines prácticos» (Sevian y Talanquer, 2013). En particular, nuestro objetivo es ayudar a los estudiantes a identificar tres cuestiones fundamentales:

—El tipo de preguntas que la química nos ayuda a responder.

—Las herramientas intelectuales y experimentales desarrolladas por los químicos para resolver tales preguntas.

—La relevancia y la diversidad de los problemas sociales y ambientales en los que el pensamiento químico juega un papel central en la generación de soluciones.

Con estas metas en mente, el currículo del curso que denominamos Pensamiento químico está organizado alrededor de preguntas esenciales que definen las unidades de estudio (ver tabla 1). Como se describe con más detalle en la próxima sección, la búsqueda de respues-

tas a estas preguntas en diversos contextos determina la organización del contenido y de las actividades de enseñanza.

Un ejemplo

Para ilustrar de mejor manera la naturaleza de nuestro abordaje educativo centrado en el pensamiento químico, a continuación se describen los objetivos de aprendizaje y las secuencias didácticas que guían el trabajo de docentes y estudiantes en la primera unidad del curso, «¿Cómo diferenciamos sustancias químicas?», que dura aproximadamente cuatro semanas. En esta unidad se busca que los estudiantes reconozcan que el pensamiento químico resulta de gran utilidad para separar, identificar, detectar y cuantificar las diversas sustancias que componen sistemas con los que interactuamos cada día, tales como el agua que bebemos, el aire que respiramos y la comida que ingerimos. En particular, se espera que al final de la unidad los estudiantes sean capaces de:

Diseñar e implementar estrategias para separar, identificar y cuantificar los principales componentes de un sistema, dada información experimental sobre propiedades físicas intensivas, como densidad o punto de fusión, composición elemental y masa molar de cada uno de ellos.

Tabla 1. Unidades de trabajo en el curso de química general Pensamiento químico

Química general I (primer semestre)	Química general II (segundo semestre)
1. ¿Cómo diferenciamos sustancias químicas?	5. ¿Cómo predecimos cambios químicos?
2. ¿Cómo determinamos la estructura?	6. ¿Cómo controlamos los cambios químicos?
3. ¿Cómo predecimos propiedades?	7. ¿Cómo sintetizamos sustancias químicas?
4. ¿Cómo caracterizamos cambios químicos?	8. ¿Cómo aprovechamos la energía química?

El trabajo en esta unidad se inicia con actividades exploratorias que ayudan a los estudiantes a reconocer que la solución al problema de separar e identificar los componentes químicos de un sistema demanda que encontremos propiedades diferenciadas con valores característicos para cada sustancia. Estas exploraciones sirven de base para introducir el concepto de *propiedades físicas intensivas*, tales como puntos de fusión y ebullición, y motivan la necesidad de estudiar y entender los cambios de fase que pueden sufrir los componentes del sistema bajo estudio. En particular, la mayoría de las actividades exploratorias y de aplicación en esta unidad se centran en diseñar estrategias para separar y analizar los componentes de diversos sistemas ambientales (principalmente, atmosféricos y acuíferos).

El reconocimiento de que sustancias distintas exhiben diferentes comportamientos de fase crea la necesidad de buscar modelos de la materia que nos permitan explicar tales diferencias. La búsqueda de estos modelos lleva a introducir el modelo corpuscular de la materia, en el que diferencias en propiedades físicas macroscópicas pueden explicarse con base en diferencias en la magnitud de las fuerzas de interacción entre partículas componentes. Durante esta etapa del aprendizaje, los estudiantes hacen uso de simulaciones computacionales interactivas que les permiten explorar el efecto de diversas variables sobre las propiedades y el comportamiento del sistema modelado (fig. 1). Varias de estas herramientas computacionales han sido desarrolladas por nuestro grupo de didáctica de la química y se puede acceder a ellas sin costo alguno en la siguiente dirección electrónica: <http://www.chem.arizona.edu/chemt/EduQ/> (Talan-

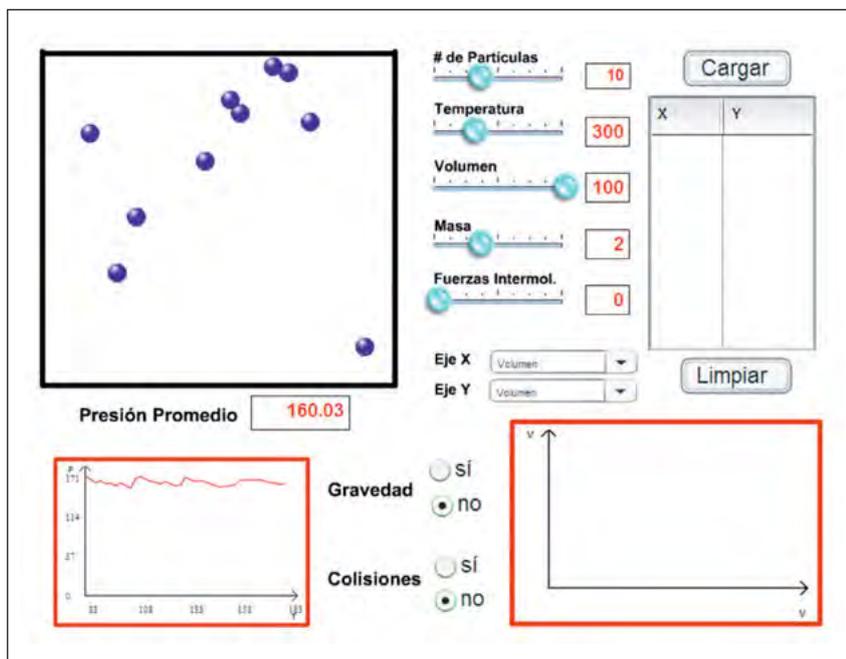


Figura 1. Pantalla de la simulación de un sistema de partículas usando dinámica molecular. Esta herramienta puede usarse para explorar transiciones de fase en la escala corpuscular.

quer, 2009). Solo se requiere contar con una computadora, un navegador y el *plug-in* de Flash disponible gratuitamente en internet.

El siguiente módulo de trabajo se centra en la búsqueda de factores responsables de las diferencias en la magnitud de las fuerzas de interacción entre las partículas que componen las sustancias de interés. Nuevas actividades de exploración y discusión se utilizan para introducir conceptos tales como *composición atómica* y *masa atómica relativa* (nivel submicroscópico), así como *composición química* y *masa molar* (nivel macroscópico). Este trabajo abre la puerta al análisis de estrategias para cuantificar la cantidad de átomos o moléculas componentes de un sistema haciendo uso de los conceptos de *cantidad de sustancia* (y su unidad, el mol) y *masa molar*. En este proceso, los estudiantes también analizan los fundamentos de técnicas experimentales que permiten determinar la masa molecular (como espectrometría

de masas) y la composición elemental (como análisis de combustión) de los componentes de un sistema.

Los conocimientos, formas de pensar y métodos experimentales introducidos en la unidad «¿Cómo diferenciamos sustancias químicas?» se exploran y discuten en el contexto de analizar y evaluar múltiples sistemas de interés ambiental. Por ejemplo, las discusiones sobre cuantificación de los componentes de un sistema involucran a los estudiantes en el análisis de cambios en la concentración de ozono en diferentes regiones de nuestra ciudad, así como en la investigación de la concentración de diversos gases invernadero. El trabajo de identificación de la composición química de sustancias los lleva a analizar la presencia de compuestos orgánicos volátiles en la atmósfera y en acuíferos en los Estados Unidos (fig. 2). Al finalizar la unidad, las evaluaciones sumativas se diseñan con el fin de que los estudiantes demuestren que

56 | MODULE 3 | Comparing Masses

Let's Apply

Ozone Matters

Some chemical elements can exist in different forms, or allotropes. That is the case of oxygen, which in its most stable form is made up of O_2 molecules, but can also exist as ozone, a substance composed of molecules with three oxygen atoms, O_3 . Ozone gas affects the respiratory system even at very low concentrations and damages the leaves and needles of trees.

$O_3(g)$ is called a secondary pollutant because it is not directly emitted into the atmosphere, but produced from chemical reactions between $O_2(g)$ and other pollutants such as $NO_x(g)$, stimulated by the presence of sunlight. Ozone concentrations are monitored regularly in major cities across the world. In the US, the EPA has set the clean air quality standard for this substance at an average of 80 ppbv over an 8-hour period.

Concentrations

The following map shows the evolution of $O_3(g)$ concentrations in Tucson, Arizona on August 18, 2010.

- Analyze the variations in the concentrations of $O_3(g)$ along the day. How would you explain these changes?
- Estimate the lowest and the highest concentrations of $O_3(g)$ in ppbv during the entire day.
- Estimate the lowest and highest concentrations of ozone in $\mu g/m^3$ assuming STP conditions.
- Discuss how concentrations of $O_3(g)$ in ppbv and $\mu g/m^3$ will change if you take into account that the atmospheric pressure in Tucson is 0.918 atm and that average temperatures are between 23.9 °C (lowest) and 37.2 °C (highest) in the month of August.

Share and discuss your ideas with a classmate. Don't forget to clearly justify your reasoning.

ppbv	Color
375+	Red
116-374	Orange-Red
106-115	Orange
96-105	Orange-Yellow
86-95	Yellow-Orange
76-85	Yellow
66-75	Light Yellow
60-67	Yellow-Green
45-59	Green
31-44	Light Green
14-30	Light Blue
0-15	Blue

74 | MODULE 4 | Determining Composition

Let's Apply

VOCs in Ground Water

In 2006, the US Geological Survey (USGS) published the results of a major research study on the presence of VOCs in ground water in the United States. As part of the National Water Quality Assessment Program, the occurrence of 55 well-known VOCs was analyzed in about 2,400 domestic wells and about 1,100 public wells across the country. The project relied on the application of analytical techniques similar to those described in this module. The results of this study indicated that many of the Nation's aquifers are vulnerable to low-level (< 1 $\mu g/L$) VOC contamination, showing the need to more closely monitor the presence of these compounds in the environment.

VOC Pollution in US Aquifers

Major Pollutants

The USGS ground water study revealed that 15 different VOCs account for most of the pollution in domestic and public wells. Relevant information to derive the chemical formulas of two of the most common pollutants found in ground water is shown on this page. The source of pollutant A, the most frequently detected compound, is attributed, in part, to the recycling of chlorinated waters to aquifers. Pollutant B is a solvent used in dry cleaning.

- What are their chemical formulas?
- What do the MS fragmentation patterns tell you about the structure of the molecules?

Figura 2. Ejemplos de actividades de aplicación en la unidad «¿Cómo diferenciamos sustancias químicas?» en las que los estudiantes analizan distintos sistemas ambientales.

76 | Are You Ready?

Are You Ready?

Titan is the largest moon of Saturn. It has a dense atmosphere and there is data that suggests that stable bodies of liquid are present on its surface. The Cassini-Huygens robotic spacecraft mission arrived in Saturn in 2004 and is currently studying the chemical composition of the planet and its moons, including Titan. The following table and graphs summarize important information about Titan.

TITAN	Additional Information
Average surface temperature	93.7 K. This temperature does not vary much during the day on this location (min: 70 K, max: 94 K)
Average surface pressure	1.47 atm. The atmospheric pressure on Earth is close to 1 atm.
Air density at ground level	5 kg/m ³ . The air density on Earth is 1.2 kg/m ³ .
Atmosphere composition (% in Volume)	80-85% N ₂ , 5-25% Ar, 3-6% CH ₄ . Compared to 78% N ₂ , 21% O ₂ in our planet.
Hydrosphere composition (% in Mass)	72% C ₂ H ₆ , 22.4% CH ₄ , 5.6% N ₂ . Compared to ~100% H ₂ O in our planet.

The central goal of this activity is that you demonstrate that you can apply chemical thinking to explain and make predictions about the properties and behavior of the substances present in a real system, such as Titan.

Chemical Thinking

U1 How do we distinguish substances? 77

Exploring Titan

Methane

This figure depicts the phase diagram of methane (CH₄), one of the main components of the atmosphere and hydrosphere in Titan.

- Label on the diagram the stable phase in each of the three major regions.
- What is the stable phase of CH₄ on the surface of Titan? Justify your answer using the diagram.
- Can we expect to see CH₄ in gaseous form anywhere in this moon? If yes, at what altitude? Justify your answer in one sentence.

The Liposphere

This graph depicts the vapor pressure graphs for methane (CH₄) and ethane (C₂H₆), the major components in Titan's hydrosphere (also called the liposphere).

- Estimate the temperatures at which each of these substances boils on the surface of Titan.
- Propose a strategy to separate these two components from a sample of Titan's liposphere.

Relative Numbers

If you separated 10.0 g of a hydrosphere sample,

- How many times more molecules of ethane (C₂H₆) than of methane (CH₄) would you find in that sample? (Check the available data for information about the % of mass of each of these components in Titan's hydrosphere).

Figura 3. Ejemplo de una sección de una evaluación sumativa de la unidad «¿Cómo diferenciamos sustancias químicas?» en la que los estudiantes analizan distintos sistemas ambientales en un satélite de Saturno, Titán.

pueden aplicar conocimientos y formas de razonamiento en el análisis de un caso/problema en un contexto diferente. Por ejemplo, hemos desarrollado evaluaciones en las que los retos han incluido: la exploración de sistemas ambientales en un satélite en nuestro sistema solar (fig. 3); el análisis y la evaluación del comportamiento y uso de sustancias refrigerantes; la exploración de la composición y el efecto de sustancias utilizadas en la fracturación hidráulica, y el análisis de los componentes de mezclas de compuestos utilizadas en la limpieza de derrames de petróleo en el océano.

A lo largo del curso Pensamiento químico, los estudiantes adquieren conocimientos y desarrollan formas de razonamiento químico que son útiles para responder preguntas de central interés para las sociedades modernas. Por ejemplo, la respuesta a la pregunta «¿Cómo caracterizamos cambios químicos?» se explora principalmente en el contexto de desarrollar estrategias para reducir la producción de sustancias contaminantes en motores de combustión. La respuesta a la pregunta «¿Cómo controlamos los cambios químicos?» se busca en el análisis del comportamiento y los efectos de medicinas y drogas en nuestro cuerpo, mientras que la pregunta

A lo largo del curso Pensamiento químico, los estudiantes adquieren conocimientos y desarrollan formas de razonamiento químico que son útiles para responder preguntas de central interés para las sociedades modernas

«¿Cómo aprovechamos la energía química?» lleva a los estudiantes a evaluar, entre otras cosas, los costos y beneficios del uso de celdas de combustible alternativas. Al finalizar el curso de química general, se espera que los estudiantes tengan una idea clara de cuándo y cómo aplicar el pensamiento químico en contextos variados.

Los resultados

Nuestro trabajo en el desarrollo del currículo de química general alternativo, Pensamiento químico, se inició en el año 2007 con implementaciones parciales en el año 2008. El currículo completo se ha venido implementando en una o dos secciones piloto de química general en la Universidad de Arizona desde el año 2009. Esto nos ha permitido hacer modificaciones y ajustes con base tanto en el resultado de evaluaciones comparativas de conocimientos y actitudes de los estudiantes como en las experiencias de trabajo en el aula. Las evaluaciones han incluido el uso de exámenes estandarizados desarrollados por la Sociedad Americana de Química, así como cuestionarios conceptuales y encuestas de actitudes, estos dos últimos generados con base en resultados de investigaciones educativas en química (Dalgety, Coll y Jones, 2003; Mulford y Robinson, 2002).

El examen estandarizado de la Sociedad Americana de Química está diseñado para evaluar la habilidad de los estudiantes para resolver problemas tradicionales de la química escolar, tales como cálculos estequiométricos, termoquímicos y de equilibrio. En este sentido, esta evaluación está alineada con los objetivos del curso regular de química general a nivel universitario. El análisis comparativo de los resultados de este examen correspondientes a

Nuestro trabajo en el desarrollo del currículo de química general alternativo, Pensamiento químico, se inició en el año 2007 con implementaciones parciales en el año 2008. El currículo completo se ha venido implementando en una o dos secciones piloto de química general en la Universidad de Arizona desde el año 2009

estudiantes que cursaron el curso regular de química general en nuestra institución (promedio de 60,8/100) y a aquellos inscritos en el curso piloto (promedio de 60,6/100) no revela diferencias significativas. Este resultado es positivo, pues indica que, a pesar de la considerable reducción en el énfasis en la resolución de problemas algorítmicos convencionales durante el curso Pensamiento químico, los estudiantes que lo completan son capaces de responder al mismo nivel que sus compañeros en cursos tradicionales. Estos datos sugieren que es posible cambiar el énfasis de los cursos de química sin detrimento en el desarrollo del tipo de habilidades de resolución de problemas enfatizadas en cursos tradicionales.

El cuestionario de química conceptual utilizado en nuestro estudio fue diseñado para evaluar la capacidad de los estudiantes para analizar sistemas y situaciones que comúnmente disparan concepciones alternativas (Kind, 2004). En este caso, el análisis estadístico de los resultados usando la prueba t de Student revela un promedio significativamente más alto ($p < 0,01$) para

aquellos estudiantes que siguieron el curso Pensamiento químico (55,3/100) comparado con el obtenido por estudiantes en cursos tradicionales (44,3/100). Aunque los estudiantes provenientes del curso piloto aún exhiben concepciones alternativas sobre varios conceptos químicos, su comprensión de ideas centrales de la disciplina parece mejorar de manera significativa.

Las actitudes de los estudiantes hacia la química (y hacia el curso de química) se evaluaron haciendo uso de una encuesta tipo Likert en la que se solicitaba indicar el nivel de acuerdo o desacuerdo con respecto a una serie de afirmaciones. Un resumen de los resultados de esta encuesta se presenta en la tabla 2, donde se incluye el porcentaje de estudiantes del curso Pensamiento químico (PQ) y del curso regular (R) que está «Muy de acuerdo» o «De acuerdo» con cada una de las afirmaciones que se listan. La comparación estadística de los resultados haciendo uso de la

prueba χ^2 señala que el curso piloto tuvo un impacto positivo significativo en las actitudes de los estudiantes en todas las áreas evaluadas.

Como parte de nuestra evaluación, también hemos obtenido información sobre las calificaciones obtenidas por los estudiantes inscritos en Pensamiento químico en cursos subsecuentes, tales como química orgánica y fisicoquímica. Resultados preliminares sugieren que estos estudiantes tienen una mayor probabilidad de obtener promedios superiores a 8 (en una escala de 0 a 10) en estos cursos avanzados que alumnos provenientes del curso regular de química general. Esta diferencia es particularmente significativa en las calificaciones de los estudiantes que completan el primer curso de química orgánica en el segundo año de sus estudios de ciencias o ingenierías.

Comentarios finales

La enseñanza de la química en cursos introductorios a nivel preuniversitario y universitario es

Las actitudes de los estudiantes hacia la química (y hacia el curso de química) se evaluaron haciendo uso de una encuesta tipo Likert en la que se solicitaba indicar el nivel de acuerdo o desacuerdo con respecto a una serie de afirmaciones

bastante monolítica (Talanquer, 2013). Los libros de texto dominantes presentan la química como una secuencia de temas parcialmente desconectados entre sí y con poca relevancia aparente en la búsqueda de soluciones a preocupaciones centrales de las sociedades modernas. Los currículos alternativos que usan contextos relevantes para organizar los contenidos representan un gran avance en la búsqueda de opciones educativas que involucren a los estudiantes en experiencias de aprendizaje más auténticas. Sin embargo, muchos docentes miran estas

Tabla 2. Resultados de la encuesta sobre actitudes hacia la química y hacia el curso de química correspondientes a estudiantes inscritos en cursos regulares (R) y en el curso piloto (PQ)

«Muy de acuerdo» o «De acuerdo»	R (%) N = 799	PQ (%) N = 216
Me interesó mucho aprender las ideas presentadas en el curso	48,0	80,2
El contenido del curso me pareció retador pero interesante	57,6	85,4
La química es una de mis materias favoritas	35,8	50,7
Las ideas discutidas en el curso me resultaron relevantes	37,8	79,7
El curso me dio una buena idea de cómo aplicar la química en la resolución de problemas	63,7	87,8
Estoy dispuesto a invertir más tiempo leyendo acerca de temas de química	34,3	54,5
Si tuviera la oportunidad, me gustaría hacer un proyecto de investigación en química	32,5	46,2

opciones con suspicacia, pues juzgan que tienden a disminuir el rigor en el aprendizaje de la disciplina. La propuesta de enseñanza de la química centrada en la idea de desarrollar el pensamiento químico se presenta entonces como una alternativa que busca reconciliar los objetivos de formación científica con las metas de una educación más social y ambientalmente responsable de futuros ciudadanos y profesionales.

La propuesta central consiste en disminuir el énfasis en la enseñanza de la química como un conjunto de conocimientos y habilidades que permiten explicar el comportamiento de la materia para, en su lugar, explorar la disciplina como un conjunto integrado de formas de razonamiento y experimentación que nos permiten resolver preguntas y problemas de gran importancia para la supervivencia de las sociedades humanas y de nuestro planeta. Más allá de aprender la diferencia entre enlace iónico o covalente, o de reconocer diferentes tipos de gases invernadero y su efecto en las temperaturas de nuestro planeta, nuestras metas educativas debían dirigirse a preparar estudiantes que, de manera individual y colectiva, puedan identificar qué tipos de preguntas relevantes la química nos ayuda a responder, qué recursos intelectuales y experimentales existen para enfrentar tales retos y cuáles son los beneficios, costos y riesgos de usar productos químicos, ya sean sustancias o procesos, para resolver nuestros problemas. Tal y como indican nuestros resultados, este abordaje educativo no solo mejora la actitud de los estudiantes hacia la química, sino que también tiene un impacto positivo en el aprendizaje de conocimientos y habilidades centrales de la disciplina.

Referencias

- BURMEISTER, M.; RAUCH, F.; EILKS, I. (2012). «Education for sustainable development (ESD) and chemistry education». *Chemistry Education Research and Practice*, n.º 13, p. 59-68.
- DALGETY, J.; COLL, R. K.; JONES, A. (2003). «Development of chemistry attitudes and experiences questionnaire (CAEQ)». *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 40, n.º 7, p. 649-668.
- EILKS, E.; RAUCH, F.; RALLE, B.; HOFSTEIN, A. (2013). «How to allocate the chemistry curriculum between science and society». En: EILKS, I.; HOFSTEIN, A. (ed.). *Teaching chemistry: A studybook*. Rotterdam: Sense Publishers.
- EUBANKS, L. P.; MIDDLECAMP, C. H.; HELTZEL, C. E.; KELLER, S. W. (2009). *Chemistry in context: Applying chemistry to society*. 6.ª ed. Nueva York: McGraw-Hill.
- KIND, V. (2004). *Beyond appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas* [en línea]. 2.ª ed. Londres: Royal Society of Chemistry. <http://www.rsc.org/images/Misconceptions_update_tcm18-188603.pdf> [Consulta: 15 noviembre 2013].
- LLOYD, B. W. (1992). «A review of curricular changes in the general chemistry course during the twentieth century». *Journal of Chemical Education*, n.º 69, p. 633-636.
- MULFORD, D. R.; ROBINSON, W. R. (2002). «An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students». *Journal of Chemical Education*, vol. 79, n.º 6, p. 739-744.
- SCHWARTZ, A. T. (2006). «Contextualized chemistry education: the American experience». *International Journal of Science Education*, n.º 28, p. 977-998.
- SEVIAN, H.; TALANQUER, V. (2013). «Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking». *Chemistry Education Research and Practice*, n.º 15, p. 10-23.
- TALANQUER, V. (2009). «Construyendo puentes conceptuales entre las varias escalas y dimensiones de los modelos químicos». *Educació Química EduQ*, n.º 5, p. 11-17.
- (2012). «Chemistry education: ten dichotomies we live by». *Journal of Chemical Education*, n.º 89, p. 1340-1344.
- (2013). «Chemistry education: ten facets to shape us». *Journal of Chemical Education*, n.º 90, p. 832-838.
- TALANQUER, V.; POLLARD, J. (2010). «Let's teach how we think instead of what we know». *Chemistry Education Research and Practice*, n.º 11, p. 74-83.
- VILCHES, A.; GIL PÉREZ, D. (2013). «Creating a sustainable future: some philosophical and educational considerations for chemistry teaching». *Science and Education*, vol. 22, n.º 7, p. 1857-1872.



Vicente Talanquer

Es profesor en la Universidad de Arizona, además de autor o coautor de más de diez libros de texto para primaria y secundaria y de más de ochenta artículos arbitrados de investigación en educación química y pensamiento docente. Su trabajo de investigación se centra en el estudio de las formas de razonamiento de los estudiantes y profesores de química. C. e.: vicente@u.arizona.edu.