

¿Qué formas de pensar debemos desarrollar en nuestras clases de Química?*

Vicente Talanquer**

Los resultados de la investigación educativa en química en los últimos 30 años han revelado una gran cantidad de problemas tanto en la enseñanza como en el aprendizaje de la disciplina. Estos problemas incluyen: énfasis excesivo en la memorización, concepciones alternativas que limitan la comprensión de conceptos fundamentales, uso de razonamiento intuitivo al enfrentar problemas, aplicación de razonamiento heurístico en la toma de decisiones, conocimiento fragmentado y conocimiento inerte que no puede ser utilizado para resolver problemas relevantes.

El panorama que nos muestra la investigación en educación química es poco satisfactorio; lo que hacemos hoy día sólo es adecuado para una minoría de los estudiantes, aquellos que serían exitosos bajo cualquier tipo de enseñanza.

Los problemas señalados tienen múltiples causas entre las que se incluyen:

- currículos que enfatizan la cobertura de gran variedad de temas y no la profundización en la comprensión de conceptos e ideas centrales
- presentación de ideas químicas de manera segmentada en lugar de manera integrada
- énfasis en la memorización de conocimientos más que en aprender a razonar
- énfasis en la resolución algorítmica de problemas numéricos y no tanto en la comprensión de conceptos fundamentales
- uso de problemas y situaciones de interés académico en lugar de problemas relevantes para los estudiantes y las sociedades en las que viven

En general, los docentes planeamos nuestras clases centrándonos en el contenido a cubrir y pensamos en la química como un conjunto de temas que los estudiantes tienen que aprender. Nos preocupamos por explicar los contenidos con claridad, erradicar concepciones alternativas sobre esos contenidos, así como por implementar actividades que refuercen la comprensión de esos

temas. Estamos tan obsesionados con los contenidos a enseñar que se nos olvida que nuestra disciplina es más que un conjunto de conocimientos a memorizar.

En la Universidad de Arizona hemos desarrollado una visión alternativa sobre la enseñanza de la química basada en la idea de que el contenido es parte de lo que define a una disciplina, pero no es suficiente para caracterizarla. Química no es la suma de temas como estructura de la materia, termodinámica y cinética; Química es una forma de pensar y actuar sobre el mundo con propósitos bien definidos entre los que se incluyen analizar y sintetizar sustancias, controlar sus transformaciones, y explicar y predecir su comportamiento.

Con esto en mente hemos reflexionado sobre maneras de organizar y pensar el currículo de química en las que, además de enfatizar el aprendizaje de conceptos o ideas, se reconocen y hacen explícitos los propósitos de la disciplina, las actividades en los que sus profesionistas participamos, las suposiciones que los químicos hacemos para resolver problemas de interés, y los esquemas de razonamiento que usamos de manera frecuente para resolver esos problemas.

En este trabajo de reflexión y desarrollo curricular hemos considerado los siguientes elementos claves:

1. Los propósitos de la actividad química, como análisis de sustancias, síntesis de compuestos, transformación de sustancias y el modelaje.
2. Las actividades que se desarrollan para lograr tales propósitos, como investigación, evaluación y diseño de estrategias para resolver problemas.
3. Las suposiciones que los químicos hacemos sobre la naturaleza y propiedades de las sustancias, en particular: cómo le damos identidad a las sustancias, cómo decidimos cuál es la causa de su transformación o el mecanismo a través del cual el cambio ocurre.
4. Los esquemas de razonamiento que aplicamos para resolver problemas, como las estrategias que utilizamos para establecer relaciones entre la composición y estructura de las sustancias a nivel molecular y sus propiedades a nivel macroscópico.

Los docentes debemos pensar en nuestra disciplina considerando mucho más que el contenido a enseñar. Entre las preguntas que debemos plantearnos se incluyen: ¿qué hacen los profesionistas de la disciplina? ¿Qué tipo de problemas tratan de resolver? ¿Cómo enfrentan la resolución de esos problemas, qué tipos de juicios hacen, cómo toman las decisiones, y qué conocimientos y



* Conferencia plenaria impartida en el 35° Congreso Nacional de Educación Química. Pachuca, Hidalgo, 2016.

** Universidad de Arizona, vicente@email.arizona.edu

suposiciones guían esas decisiones? Si uno lo piensa con cuidado, las respuestas que en la actualidad le damos a estas preguntas en nuestros cursos tradicionales de química son poco realistas. La idea que comunicamos es que los químicos se la pasan:

- Balanceando ecuaciones químicas
- Dibujando estructuras de Lewis
- Calculando moles y número de partículas
- Escribiendo configuraciones electrónicas de átomos
- Memorizando nombres de sustancias

Estas respuestas están lejos de describir los propósitos, actividades, relevancia y formas de pensar en nuestra disciplina. En realidad, los profesionistas de la química nos dedicamos a caracterizar, predecir, controlar, diseñar, explicar y evaluar las propiedades de identidades químicas en contextos relevantes. A esto es a lo que nos dedicamos con el propósito de analizar, transformar y modelar el mundo en el que vivimos. Estas respuestas más auténticas son las que deberían guiar el desarrollo del currículo de enseñanza de la disciplina en cualquier nivel educativo.

Si el objetivo es que los estudiantes aprendan a pensar de manera más auténtica, debemos reflexionar en las formas fundamentales de pensar que queremos que desarrollen. Una vez establecido esto debemos preguntarnos ¿qué tan diferentes son esas formas de pensar de las que tienen nuestros estudiantes cuando ingresan a la universidad? y, finalmente ¿cómo facilitamos la transición de su forma de pensamiento actual a la forma en que queremos que piensen?

Analicemos un ejemplo ilustrativo de la diferencia entre cómo nos gustaría que nuestros estudiantes piensan y cómo realmente piensan cuando entran en nuestros cursos. Imaginen que ustedes son mis estudiantes y les presento el problema de diseñar un calentador portátil. Para ello les propongo dos alternativas:

Usar CH_4 o usar CH_4O ¿Cuál escogen? Con la pregunta presentada así, la mayoría de los estudiantes (54%) escoge al metanol, CH_4O . Pero si la pregunta se presenta con las palabras “gas natural” o “alcohol metílico”, 71% elige gas natural. ¿Cómo explicamos esta diferencia en sus respuestas?

Las investigaciones en educación sugieren que la forma en que los seres humanos tomamos decisiones depende de cómo se nos presenta la información. Si tenemos poco conocimiento sobre un tema tendemos a prestar más atención a diferencias explícitas entre las opciones que se nos presentan. Después, si podemos, asociamos ese rasgo sobresaliente con la propiedad que tenemos que evaluar e inconscientemente sustituimos una pregunta difícil por una pregunta más fácil que sí podamos contestar. Por ejemplo, al comparar las fórmulas del CH_4 y el CH_4O , lo que los estudiantes notan es la presencia de una O en una fórmula y no en la otra. Muchos estudiantes asumen que las sustancias son mezclas de diferentes cosas (C, H y O) y que las propiedades de estas mezclas son un promedio de las propiedades de sus componentes. Con esa idea en mente, y recordando que el oxígeno de alguna manera participa en la combustión de las sustancias, se inclinan por seleccionar CH_4O porque tiene más oxígeno que CH_4 . La pregunta que responden

no es cuál sustancia es el mejor combustible sino cuál tiene más oxígeno porque el oxígeno se asocia con la combustión.

Por otro lado, cuando a los alumnos se les presenta la misma opción, pero usando los términos gas natural y alcohol metílico, el rasgo explícito que los distingue es la palabra “natural”. Los seres humanos tendemos a preferir lo natural sobre lo artificial porque asociamos lo natural con cuestiones positivas (menos contaminante, menos dañino para la salud). No es de extrañar que los estudiantes usen esta asociación para tomar su decisión. De nuevo, no responden a la pregunta de qué compuesto es el mejor combustible para un calentador portátil, sino responden la pregunta cuál es mejor para el medio ambiente.

La investigación educativa demuestra que la mayoría (arriba del 90% de los estudiantes en un salón de clase) aplica el razonamiento heurístico descrito en los párrafos anteriores, aún al finalizar los cursos de química general. Esta forma de razonar es mucho más dominante que el tipo de razonamiento que deseamos que nuestros estudiantes apliquen al resolver problemas o tomar decisiones. En su lugar, nos gustaría que los estudiantes aprendieran a identificar cuáles son las características químicas relevantes, aunque no se presenten de manera explícita. Nos gustaría que, una vez que identifican esos rasgos, tengan la capacidad de construir relaciones estructura-propiedad que les permitan tomar la decisión entre cuál de estos dos compuestos podría ser el mejor.

El tipo de razonamiento que los estudiantes deben desarrollar es razonamiento mecanístico: dado un sistema de interés con ciertas propiedades, deben ser capaces de generar un modelo causal que conecte a las propiedades de los componentes con las propiedades del sistema estudiado. Sin embargo, para aprender a pensar de esta manera no es fácil. No ocurre ni en un semestre ni en un año de enseñanza, porque uno tiene que aprender a reconocer los rasgos esenciales que determinan las propiedades del sistema de interés, muchos de ellos implícitos en las representaciones químicas, y saber cómo utilizarlos que construir cadenas de inferencias. Esto demanda integrar conocimientos sobre la estructura y propiedades de las sustancias a diferentes escalas, desde el nivel macroscópico al nivel atómico.

Si nuestra meta es que nuestros estudiantes desarrollen la capacidad para razonar de esta manera compleja, la pregunta que nos hemos hecho en la Universidad de Arizona es cómo facilitar su desarrollo. Para ello, hemos transformado el currículo de química general implementando tres cambios fundamentales:

- Cambio de énfasis en los objetivos de aprendizaje
- Cambio en la naturaleza de la evaluación y la frecuencia de las evaluaciones
- Cambio en las experiencias en el salón de clase.

Para lograr el primero de los cambios nuestro curso de química general se ha organizado alrededor de actividades centrales en el trabajo de la química como análisis de sustancias, determinación de estructuras, predicción de propiedades, y control de reacciones. El currículo no está organizado alrededor de temas tradicionales como estequiometría o termodinámica, sino alrededor de ocho preguntas esenciales que guían el trabajo de discusión en el aula sobre, por ejemplo, cómo distinguimos

Anesthetics

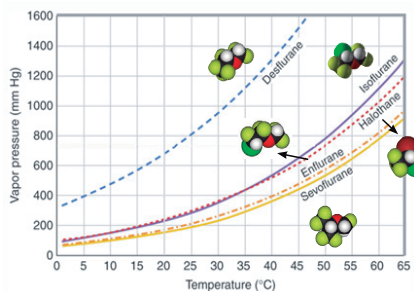


An anesthetic is a drug that causes anesthesia (loss of sensation). These substances are commonly used to facilitate surgery. Some anesthetics can be delivered via inhalation (inhalational anesthetics). They are often administered through an anesthesia mask connected to a medical vaporizer. These types of anesthetics tend to be volatile chemical compounds that are not very reactive and can be easily vaporized.

Phase Behavior

Most inhalation anesthetics used in modern medicine are halogenated chemical compounds made up of molecules containing different halogen atoms (e.g., F, Cl, Br). The vapor pressure curves for several of these substances are shown in the graph to the right.

- Medical vaporizers are often kept at a constant temperature close to 20 °C and 1 atm. What is the stable phase of the anesthetics shown in the graph under these conditions?
- Which of the substances represented in the graph will be a gas at body temperature (37 °C) and 1 atm?
- Which of these anesthetics requires a larger input of energy to evaporate?
- Anesthetics evaporate at a constant temperature in a vaporizer. Sketch graphs showing how the average kinetic and potential energies of the anesthetic particles change as the substance evaporates.



Molecular Mix

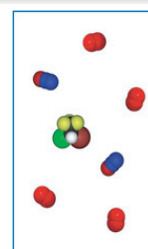
An anesthetic is typically mixed with oxygen (O_2 ; $T_b = -183\text{ °C}$) and dinitrogen oxide (N_2O ; $T_b = -88.5\text{ °C}$) before it is delivered to the patient. The image below represents this mixture for a vaporizer with halothane ($C_2HBrClF_3$).

- Which molecules are likely to exit the vaporizer faster and reach the patient first? Why?

Exposure Limit

The recommended exposure limit (REL) for any inhalation anesthetic is an average of 2 ppmv in one hour.

- Express the REL for desflurane ($C_2H_2F_4O$) and halothane ($C_2HBrClF_3$) in mg/m^3 at body temperature (37 °C) and atmospheric pressure.



CHEMICAL THINKING. Vicente Talanquer - <https://sites.google.com/site/chemicalthinking/>

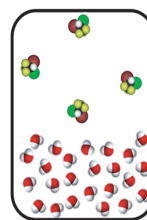
Anesthetics



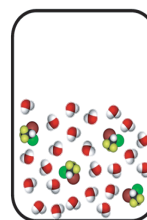
In the Blood

For an inhalation anesthetic to work, it must partially dissolve in blood which is made primarily of water. Understanding how much an anesthetic can dissolve in water is important in deciding what dose to administer to a patient. Particulate representations of halothane undissolved and dissolved in water are shown to the right.

- Sketch a diagram (PEC diagram) that illustrates the relative potential energy and number of available configurations for halothane undissolved (UD) versus halothane dissolved (D) in water. Clearly justify your reasoning.
- Based on your PEC diagram, predict whether more or less halothane will dissolve in water as temperature increases. Justify your thinking.
- The attractive interactions between halothane molecules and water molecules are stronger than the attractive interactions between desflurane molecules and water molecules. How would the PEC diagram for desflurane be different from the PEC diagram for halothane? Justify your reasoning.



Undissolved

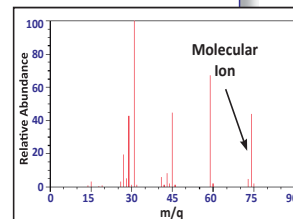


Dissolved

Diethyl Ether

Diethyl ether was commonly used as anesthetic in the past. Elemental analysis of this substance reveals the following chemical composition: 64.81% C, 13.60% H, 21.59% O. The mass spectrum of this chemical compound is shown to the right.

- Derive the empirical and molecular formulas for this compound.

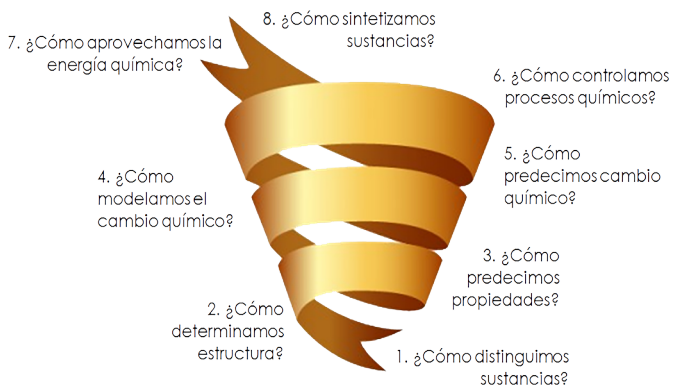


An anesthetic effect can slowly be achieved in 15–20 minutes of breathing approximately 12 g of diethyl ether.

- Estimate the number of molecules of this substance that needs to be inhaled to achieve an anesthetic effect.
- The normal boiling point of diethyl ether is 34.6 °C. Discuss how the strength of the interactions between diethyl ether molecules compares with that between molecules of halothane and desflurane.



CHEMICAL THINKING. Vicente Talanquer - <https://sites.google.com/site/chemicalthinking/>



sustancias, cómo determinamos su estructura y cómo predecimos propiedades. Al trabajar sobre cada pregunta se introducen los conocimientos necesarios para contestarla, pero estos conceptos se presentan como herramientas intelectuales que facilitan la búsqueda de soluciones o la resolución de problemas en contextos relevantes.

El currículo no se concibe o representa como una escalera temática sino como una telaraña de pensamiento en la que la atención de los estudiantes se enfoca sobre la pregunta esencial, introduciendo ideas y conceptos útiles para resolver esa pregunta en contextos concretos, específicos y de relevancia para los alumnos y las sociedades en las que viven. Por ejemplo, en la primera unidad se busca resolver la pregunta ¿cómo distinguimos sustancias? y las discusiones se contextualizan a través de situaciones problema en las que se analizan los componentes presentes en el aire que respiramos o en la atmósfera de diferentes planetas.

El segundo cambio educativo introducido se centra en la evaluación. Las evaluaciones se conciben como instrumentos fundamentales para transformar el pensamiento tanto del docente como de los alumnos. Hemos buscado disminuir el énfasis en la evaluación sumativa de conocimientos aislados e incrementar el uso de evaluaciones tanto formativas como sumativas que revelen la habilidad de los estudiantes para integrar ideas y aplicar formas de razonamiento químico para resolver problemas. En la enseñanza tradicional es común evaluar conocimientos y habilidades aisladas, como si se tratara de herramientas que uno debe saber manipular sin un propósito definido. Las evaluaciones que estamos desarrollando e implementando se basan en escenarios más realistas que demandan la aplicación de conceptos e ideas de manera integrada en contextos de interés como, por ejemplo, discriminar anestésicos, determinar las propiedades de componentes en los alimentos y controlar reacciones en la atmósfera que generan compuestos ácidos. Ejemplos concretos de este tipo de evaluaciones están disponibles para todo público en la siguiente página de internet:

<https://sites.google.com/site/chemicalthinking/tasks>

El tercer cambio busca modificar las formas de enseñanza en el aula siguiendo un modelo de instrucción conocido como ciclo de aprendizaje. Este modelo



el trabajo comienza con la presentación de un fenómeno o problema ancla que se quiere explicar o resolver, seguido por la exploración de las ideas iniciales de los estudiantes. Posteriormente, se crean múltiples oportunidades para que los estudiantes desarrollen los conceptos que permiten analizar la situación de interés. Estos nuevos conceptos e ideas se utilizan para revisar los modelos iniciales y construir argumentos y explicaciones. Finalmente, los conocimientos adquiridos se aplican en el análisis de otros problemas o situaciones en las que las formas de razonamiento desarrolladas son también de utilidad.

El trabajo en el aula involucra a los estudiantes en el análisis de datos, la generación de modelos para explicarlos, la construcción de argumentos con base en las evidencias disponibles y la reflexión constante sobre lo que se ha aprendido. Se busca que los estudiantes aprendan a proponer modelos razonables que les permitan dar una primera explicación a los datos presentados, hacer predicciones, verificarlas y construir argumentos para justificar el modelo usado, evaluarlo y, si es necesario, modificarlo. El trabajo de modelación se apoya a través del uso de simuladores computacionales que están disponibles en la siguiente página de internet:

<https://sites.google.com/site/ctinteractives/>

Después de un año de implementación de los cambios descritos hemos recabado datos de evaluación utilizando un examen estandarizado desarrollado por la American Chemical Society. En promedio, los estudiantes que han seguido el nuevo currículo obtienen una mejor calificación en este examen que los estudiantes que tomaron el curso tradicional. También hemos visto que estos estudiantes se desempeñan mejor en el curso siguiente (química orgánica) que los estudiantes de años anteriores, tanto en mejores calificaciones como en menor índice de reprobación (diferencias significativas). También hemos hecho evaluaciones que tienen que ver con actitudes hacia la química y los resultados son espectaculares en comparación con los resultados anteriores al cambio del programa.

Para finalizar, me gustaría comentar que si queremos que nuestros estudiantes adquieran la actitud y formas de razonamiento que valoramos debemos tener una actitud más crítica hacia nuestro quehacer docente. Debemos reconsiderar seriamente nuestros objetivos de aprendizaje y las evaluaciones que utilizamos para determinar si los hemos alcanzado. También es importante que reflexionemos sobre las actividades instruccionales que implementamos en nuestros salones de clase. Es fundamental que repensemos nuestra concepción de la disciplina para conceptualizarla no como un conjunto de conocimientos a memorizar sino como una forma de pensar y actuar en el mundo. Más que esforzarnos en que los estudiantes aprendan lo que sabemos, debemos concentrarnos en enseñarles cómo pensamos.

Agradecimientos

Agradezco al Dr. Pollard y al maestro Yanagihashi por su colaboración en el desarrollo e implementación del currículo "Pensamiento Químico" en la Universidad de Arizona.