

La dimensión ciencia-tecnología-sociedad del tema de ácidos y bases en un aula del bachillerato

Guianeya Guerra,¹ Clara Alvarado,² Blanca Estela Zenteno-Mendoza³ y Andoni Garritz¹

ABSTRACT (High school presentation of an STS dimension topic on acids and bases)

This work has as its foundation the use of models and the structuring of a didactic unit with three learning sequences, to introduce the Science-Technology-Society dimension in the teaching of acids and bases in high school level. The introduction includes a general survey on the theoretical foundations of STS dimension, modeling in science teaching and the construction of didactic units. The importance of the topic of acid and bases is argued and the design of a STS sequence on this topic is discussed for its application on a sixth semester high school class in Colegio de Ciencias y Humanidades of Universidad Nacional Autónoma de México.

KEY WORDS: Acids and bases, STS dimension, Modelling, Didactic unit, Chemistry teaching, High School.

Introducción

En la actualidad, el conocimiento científico ha pasado a formar parte de la cultura de la ciudadanía y se ha convertido en una herramienta útil para desenvolverse en un mundo en que la ciencia y la tecnología resultan ser algo cotidiano. Sin embargo, aprehender el conocimiento científico no ha sido fácil; son varios los estudios que hacen referencia al fracaso y desinterés escolar que, en los últimos años, agobia a los estudiantes de ciencias (Vilches y Furió, 1999; Vázquez, Acevedo y Mannessero, 2005). Este desinterés por la ciencia y las carreras científicas tiene diversos orígenes, entre los que destaca la presentación positivista de la ciencia y la descontextualización del conocimiento científico en su enseñanza tradicional. Los contenidos disciplinarios a enseñar se vuelven complejos y poco significativos para el estudiante, sobre todo cuando se muestran desconectados de la vivencia diaria, fuera de todo contexto histórico y social. Afortunadamente esta tendencia ha ido cambiando y hoy los currículos escolares incluyen entre sus finalidades la alfabetización tecnocientífica, porque lo que se pretende es que el estudiante y futuro ciudadano valore la utilidad de la dupla integrada del conocimiento científico y del tecnológico. Para alcanzar estas metas se propone la enseñanza de la ciencia en la dimensión Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS), ya que en palabras de los educadores, esta

reforma educativa es la que brinda el marco de referencia más sólido para afrontar los retos educativos, fomentar la participación y promover la alfabetización científica requerida (Martín-Gordillo y Osorio, 2003; Acevedo, 2004).

En esta introducción vamos a presentar los fundamentos de tres aspectos que toca este trabajo: la dimensión CTS; la enseñanza de la ciencia mediante modelos y la construcción de unidades didácticas a través de secuencias de aprendizaje.

La dimensión CTS

Su definición

CTS es un término que ha sido ampliamente utilizado. En este artículo usaremos la definición propuesta por Aikenhead (1994: pp. 52–53):

“Las aproximaciones CTS son aquellas que hacen énfasis en los enlaces entre ciencia, tecnología y sociedad, al poner atención en alguno de los siguientes puntos: un artefacto, proceso o expertez tecnológico; las interacciones entre la tecnología y la sociedad; un aspecto social relacionado con la ciencia o la tecnología; un contenido de ciencia social que alumbra algún aspecto social relacionado con ciencia y tecnología; un aspecto filosófico, histórico o social dentro de la comunidad científica o tecnológica.”

Su trascendencia y objetivos

Los estudios CTS en la educación surgen a principios de los años setenta del siglo pasado como una nueva forma de concebir la ciencia y la tecnología, ya no como una actividad autónoma, objetiva y neutral sino como todo un proceso colectivo y social (García-Palacios *et al.*, 2001). Su evolución y las diversas formas como se le ha denominado han sido abordadas por Aikenhead (2003), quien hace la siguiente cita pionera de Gallagher de 1971:

¹ Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.

Correos electrónicos: guianeyav@yahoo.com y andoni@unam.mx

² Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Universidad Nacional Autónoma de México.

Correo electrónico: clara.alvaradoz@gmail.com

³ Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Sur, Universidad Nacional Autónoma de México.

Correo electrónico: bzenteno2001@hotmail.com

"Para futuros ciudadanos en una sociedad democrática, comprender la interrelación entre ciencia, tecnología y sociedad puede ser tan importante como entender los conceptos y los procesos de la ciencia."

(Gallagher, 1971: p. 337)

En el ámbito educativo los estudios CTS implican un cambio de paradigma respecto a la educación tradicional, porque tanto su visión como sus fines conducen a una transformación radical en la enseñanza de la ciencia; de aquí que Garritz (1994: p. 218) comente:

"El enfoque CTS no es una forma especial de educación, como la educación ambiental o la educación para la salud, tampoco es una manera de ordenar los contenidos de un currículo o de seleccionarlos... CTS es una reforma educativa que implica un cambio de gran alcance".

Esto debido a que las metas educativas de la dimensión CTS se encaminan a corregir la imagen deformada de la ciencia y a orientar su enseñanza hacia la formación de ciudadanos responsables, capaces de participar en las resoluciones y debates que giran en torno a los desarrollos científicos y tecnológicos, promoviendo la alfabetización tecnocientífica. Este nuevo enfoque de "Ciencia para todos" ha captado la atención frente al objetivo tradicional de la enseñanza de las ciencias, de ir formando los futuros científicos, ingenieros, médicos, etc. (Fensham, 1985; Membiela, 1997).

Una conclusión general de los estudios publicados es que la enseñanza CTS ayuda al desarrollo del conocimiento de los estudiantes, a sus habilidades en proceso, a su creatividad, a sus actitudes hacia la ciencia, a su toma de decisiones y visión epistemológica acerca de la misma. A este respecto, Solbes y Vilches (1997); Aikenhead (2005) y Bennett, Lubben y Hogarth (2007) nos dicen cuáles han sido algunos de los resultados de poner en práctica un currículo CTS:

1. Hacer que los aspectos humanos y culturales de la ciencia y la tecnología sean más accesibles y relevantes para los estudiantes;
2. Fomentar actitudes más positivas hacia la ciencia tanto en niños como en niñas, para reducir las diferencias de género existentes;
3. Promover que los estudiantes desarrollen un pensamiento crítico en la resolución de problemas, así como la toma de decisiones en un contexto cotidiano;
4. Incrementar la capacidad comunicativa de los estudiantes y de ser auto-asertivos con la comunidad científica y sus voceros (i. e. escuchar, leer, responder, etc.);
5. Aumentar el compromiso de los estudiantes hacia la responsabilidad social;
6. Suministrar una sólida base de entendimiento científico para su estudio ulterior, incrementando el interés por aprender los contenidos canónicos de la ciencia que se encuentran en el currículum científico.

Todo ello como resultado de orientar la enseñanza de la ciencia hacia el estudiante y no con centro en el conocimiento científico mismo, como se hace en la enseñanza tradicional.

Problemas que se han presentado en la implementación de la dimensión CTS

No obstante los beneficios observados, este tipo de enseñanza no es una realidad cotidiana en el aula por lo que coincidimos con otros autores (Talanquer, 2000; Tsai, 2001; Solbes, Vilches y Gil, 2001; Membiela, 2005; Vázquez, Acevedo y Manassero, 2005) en que la inserción de la dimensión CTS en los cursos de ciencias ha sido más de retórica que de hechos, ya que aún se presentan variados obstáculos que impiden alcanzar sus objetivos. De acuerdo con estos autores los obstáculos más frecuentes son:

- Desconocimiento por parte del profesorado de la dimensión CTS y de su relevancia en la enseñanza escolar de la ciencia. Hay un escaso entendimiento del docente de la naturaleza de la ciencia y la tecnología, así como de las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad;
- Miedo del docente a perder su identidad como profesor de ciencias;
- Un currículo escolar demasiado extenso;
- Falta de integración entre los contenidos contextuales y disciplinarios en los programas de ciencias;
- Insuficiencia de pares y de apoyo administrativo;
- La aplicación de exámenes departamentales y de admisión universitaria puramente disciplinarios;
- Carencia de propuestas didácticas y materiales de apoyo (tanto para alumnos como para profesores) adecuados a los programas escolares y al contexto educativo de cada país.

Para superar estos obstáculos es necesario promover la capacitación docente no sólo en la pedagogía y didáctica de la disciplina, sino también en la filosofía e historia de la ciencia y en el conocimiento de la interacción Ciencia-Tecnología-Sociedad (Garritz, 2007). En cuanto al currículum escolar, es necesario que todos los actores que intervienen en el proceso educativo hagan un análisis de sus contenidos y reestructuren los programas de ciencias, atendiendo a la voz de los investigadores, quienes opinan que:

"No es asunto de preguntarse qué aspectos del contexto se pueden utilizar para ilustrar o desarrollar aquellas ideas científicas presentes en un cuerpo preexistente de conocimiento científico. Es necesario preguntarse qué explicaciones científicas e ideas acerca de la ciencia son necesarias para que los estudiantes le den sentido a su vida futura en un mundo dominado por la ciencia y excluir rigurosamente todo aquello que no cumpla con este criterio de selección".

(Bennett y Holman, 2002: p. 182)

En su transitar, la reforma educativa CTS ha ido acuñando una serie de lemas que reflejan otras necesidades en la educación: "Ciencia para todos", "educación humanística", "educar

para participar”, “alfabetización científica y tecnológica”. De estos acrónimos el más extendido es el que reclama la alfabetización científica y tecnológica de la ciudadanía. La alfabetización hace referencia a la importancia social y cultural de la ciencia y la tecnología en la educación de todas las personas, lo cual implica el debate sobre temas científicos de carácter público, prestando atención no únicamente al cuerpo de conocimientos, sino enfocándose también a las repercusiones éticas y sociales de la ciencia y la tecnología.

Ahora bien, ¿cómo concretar en el aula un proyecto de alfabetización científica? Puede decirse que hay un consenso en muchos países en cuanto a promover diversidad de estrategias de enseñanza de la ciencia con orientación CTS; sin embargo, en pocas de ellas se hace explícito el fundamento didáctico y psicológico que las sustenta. Consideramos grave esta carencia porque implica que el docente, cuando intente implementar en su aula la propuesta, en términos generales, sólo contará con orientaciones curriculares más bien insuficientes para transformar realmente el proceso de enseñanza-aprendizaje. Necesita, justamente, un modelo que dé sentido al conjunto de aspectos que tendrá que modificar (y reintegrar) de sus concepciones y acciones en la enseñanza de un contenido particular.

De lo contrario, tal como se dice que ocurre con los alumnos cuando asimilan los conceptos científicos que se les presentan a sus conocimientos previos, los docentes sólo modificarán superficialmente algunos aspectos de los contenidos a tratar, pero no cambiará su forma de entender el proceso en su complejidad entera.

Entonces, ¿cuáles pueden ser los soportes didácticos de una propuesta con orientación CTS? En este trabajo se propone una unidad didáctica para los cursos de Química del bachillerato, con base en la modelación.

Enseñanza de la ciencia a través de modelos

Los modelos en la actividad científica

La ubicuidad de los modelos en la historia y en la práctica actual de la ciencia es ampliamente reconocida. Desde el siglo pasado, historiadores y filósofos de la ciencia se han esforzado por entender el papel de los modelos en la ciencia. Entre otras cuestiones, han estudiado la naturaleza de las teorías científicas, el estatus de las hipótesis, la función de las metáforas y las analogías en la explicación científica, los experimentos mentales, así como la articulación, la aplicación y la justificación de los modelos (Matthews, 2007).

Los modelos juegan un papel preponderante en la construcción del conocimiento. En el caso particular de la química, los modelos son útiles para explicar tanto el comportamiento de la materia como para comunicar y representar resultados, los cuales evolucionan conforme el área de investigación avanza. La Química es al mismo tiempo una ciencia muy concreta y muy abstracta. Los fenómenos que estudia nunca son fáciles de caracterizar, pues la relación entre lo que se observa y lo que hoy se sabe no es en

ningún caso evidente (Izquierdo, Caamaño y Quintanilla, 2007). Puede decirse que los químicos modelan la estructura y el funcionamiento de la materia en un esfuerzo por explicar por qué se comporta de la forma en que lo hace. O, en otras palabras, que es a través de la modelización que los químicos abordan muchos de los problemas que se plantean. En suma, su trascendencia es tal que se ha dicho que los modelos constituyen la “forma de pensamiento dominante” en la Química.

Los modelos en la enseñanza de la ciencia

Si se comparte la idea de que una de las funciones de la escuela es preparar a los individuos para comprender, opinar e intervenir en su comunidad de manera responsable, justa, solidaria y democrática (García, 2002), entonces la enseñanza de la ciencia vendría a ser una herramienta fundamental para esta transformación. Se puede afirmar, por tanto, que una finalidad de la enseñanza de la ciencia es ayudar a los alumnos a apropiarse de esta cultura (Chamizo, 2005).

Ahora bien, la cultura científica no únicamente integra el conocimiento de nombres y fórmulas, hechos y datos. Ésta abarca también entender el conjunto de modelos y teorías de que se dispone actualmente para responder preguntas sobre los hechos que suceden a nuestro alrededor. En este sentido, modelos, analogías y metáforas desempeñan un papel central, al establecer puentes entre lo conocido y lo desconocido uniendo, de esta forma, dos realidades que hasta ese momento eran extrañas. No es de sorprender, por tanto, que el estudio de los modelos sea fundamental en la investigación educativa, que se ha ocupado profusamente en indagar diversos aspectos de los modelos relacionados con el aprendizaje escolar (como apoyo a los procesos de memorización, la relación que guardan con la adquisición de conocimiento histórico y filosófico, el papel de la experiencia del aprendiz en la construcción del conocimiento de teorías científicas, la resolución de problemas, entre muchos otros).

Concebir el aprendizaje de la ciencia como un proceso de modelización de los fenómenos implica, sin duda, un cambio sustancial en la forma de enseñarlos. Desde este punto de vista la modelización del conocimiento científico estará en función de la concepción de “ciencia” que el docente posea.

En la postura tradicional, se considera que el conocimiento científico es el resultado de la observación y la experimentación, se hace énfasis en la idea de objetividad en la recogida de datos, y la presencia de un “método científico”. Asimismo, se considera que la “verdad” existe y que los científicos buscan develarla mediante la elaboración de modelos y teorías, los cuales serán ciertos o falsos según se ajusten o no a la realidad, pese a que ninguna realidad satisface totalmente estas interpretaciones idealizadas (Sanmartí, 2002).

En cambio, desde una perspectiva más actual se considera que

“El conocimiento científico es de naturaleza simbólica y negociado socialmente, y los objetos de la ciencia no son los fenómenos de la naturaleza, sino los constructos que la

comunidad científica ha elaborado para interpretarla."

(Driver *et al.*, 1994)

Esto es, que las interpretaciones no proceden en forma directa de la realidad, sino de los "modelos": "objetos abstractos cuyo comportamiento se ajusta exactamente a las definiciones", pero cuya relación con el mundo es compleja (García y Sanmartí, 2006). Del modelo se deducen preguntas y se hacen predicciones que se contrastan con los datos provenientes de la experimentación. Por ello se puede afirmar que, de alguna manera, la realidad observada forma parte del modelo, tanto porque se genera en relación a ella como porque ésta se observa a través de él.

Modelos y teorías son entendidos como constructos culturales que la ciencia ha ideado para dar sentido a los fenómenos de la naturaleza. Son potentes ya que explican muchos hechos diferentes. De hecho, se puede definir la ciencia como un proceso de construcción de modelos con distintas capacidades de predicción, definición que une los procesos de la ciencia (elaboración de modelos y su utilización como herramientas del pensamiento científico) con sus productos (modelos generados por tales procesos) (Justi, 2006; Giere, 1999).

Así, de acuerdo con Giere (1999), una teoría científica puede caracterizarse por el conjunto de sus modelos que establecen relaciones de similitud con hechos del mundo mediante hipótesis teóricas. Las hipótesis teóricas permiten experimentar, ver si aciertan (si el hecho del mundo se comporta según el modelo o no) y se pueden formular predicciones de la manera siguiente: "Si esto fuera como dice el modelo, al hacer esto, pasaría aquello". El fundamento teórico de nuestra propuesta de modelización toma como referente estas ideas de Giere, representadas en la figura 1.

Modelización en la Química escolar

Dado que la investigación científica se enfoca a metas distintas a las de la enseñanza de la ciencia escolar, es de suponerse que el escenario de la adquisición del conocimiento en una y otra no sea el mismo, lo cual implica, actividades de enseñan-

za y evaluación de la ciencia escolar, diferentes a las de la investigación científica profesional. Esto nos lleva a modificar sustancialmente la concepción de ciencia escolar y, en correspondencia, los criterios en relación a aspectos mostrados en la figura 2.

En esta propuesta de ciencia escolar lo que se pretende, básicamente, es ayudar a los alumnos a construir modelos explicativos de los fenómenos. A diferencia de algunos planteamientos más tradicionales, no se basa en el consumo de un producto elaborado y digerido (los modelos teóricos eruditos) que los escolares han de aprender, sino en la actividad de construcción de modelos científicos escolares.

Los modelos han de ser significativos para los jóvenes, dándoles la opción de pensar, ver y actuar en el mundo desde una posición científica, de utilizar en su vida tanto los conocimientos como las herramientas derivadas de la misma, para la toma de decisiones en relación con situaciones de orden social (Gómez, 2006).

En este enfoque la modelización se concibe como un proceso que tiene lugar cuando los alumnos aprenden a 'dar sentido' a los hechos que observan, construyendo relaciones y explicaciones cada vez más complejas (Justi y Gilbert, 2002). Esto supone que los modelos elaborados por los alumnos debieran integrar no sólo más información, sino también, otros modelos y perspectivas, de tal suerte que los modelos iniciales evolucionen hacia los modelos planteados desde el referente de la ciencia actual. Asimismo se trata de que el alumno pueda interpretar las diferencias y similitudes entre los diferentes modelos (por ejemplo como lo indican varios de los capítulos del texto de Gilbert y Boulter, 2000).

En el caso de la actividad química escolar que es, como la científica, una actividad de emergencia de conocimiento y requiere igualmente experimentación, elaboración de evidencias e introducción de nuevos lenguajes, la modelización y la discusión 'reguladora' se entrecruzan para promover una reconstrucción racional de los fenómenos, que permitirá interpretar los hechos e imaginar los procesos nanoscópicos subyacentes al mundo material macroscópico.

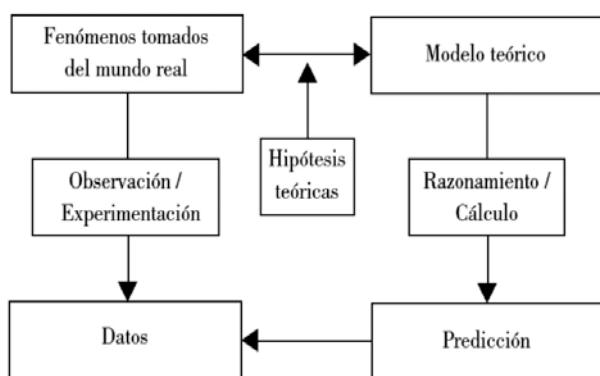


Figura 1. Elementos que constituyen los modelos científicos y forma en la que se evalúan, tomado de Gómez (2006: p. 144).

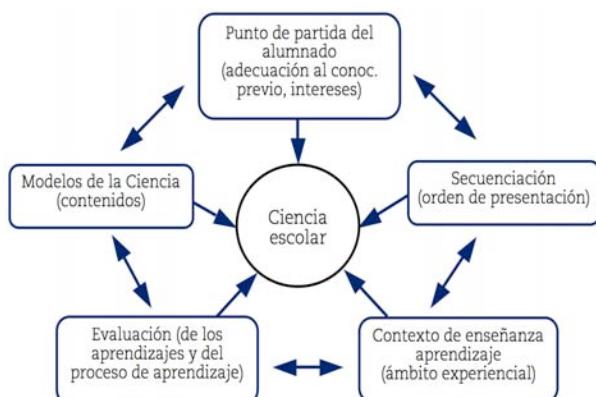


Figura 2. Caracterización de la ciencia escolar; adaptado de Sanmartí (2002: p. 82).

En cuanto a la perspectiva pedagógica de la enseñanza a través de modelos, ésta no centra su atención en el “cambio conceptual” ni en la aplicación del “método científico”, sino en la explicitación que el estudiante hace de los hechos observados a través de distintos lenguajes, es decir, en la construcción de modelos explicativos que se enriquecen con las nuevas experiencias y el intercambio de puntos de vista entre los miembros del grupo. Por ello, la hipótesis en la construcción de modelos apunta no a la superación empírica de un modelo por otro, sino a la integración jerárquica que el estudiante va haciendo del conocimiento cotidiano y el científico, considerando que también aprenden a diferenciar e integrar diversos tipos de explicaciones, y no sólo eso, sino que reconocen los contextos en los que son relevantes (Pozo y Gómez-Crespo, 1998).

Existe un ejemplo reciente de la utilización de la modelización en el diseño de una unidad curricular para la enseñanza del tema de ácidos y bases (Erduran, 2007). En este trabajo, la autora señala que se han olvidado frecuentemente en la enseñanza de la química los aspectos epistemológicos de los modelos como resultados del aprendizaje. Pone atención por ejemplo a los factores que denomina como “proyectabilidad y composicionalidad” de los modelos (“projectability and compositionality” en el original en inglés).

Una unidad didáctica con varias secuencias de enseñanza-aprendizaje

Sánchez Blanco y Valcárcel Pérez (1993) presentaron hace quince años un modelo para la planificación de la enseñanza basado en el diseño de unidades didácticas, con cinco componentes:

- Analísist científico;
- Analisis didáctico;
- Selección de objetivos;
- Selección de estrategias didácticas;
- Selección de estrategias de evaluación.

Dentro de este esquema, dos de los autores de este trabajo realizaron y aplicaron dos unidades didácticas dentro de la dimensión CTS, cuyos temas fueron “La espuma que le ayudó al hombre a llegar a la luna” y “Contaminación con metales pesados, una llamada de alerta” (Zenteno, 2007).

Hoy el tema se ha retomado desde una nueva perspectiva, con el advenimiento del concepto de secuencia de enseñanza-aprendizaje, al cual se ha dedicado todo un número del *International Journal of Science Education* (el volumen 26, número 5 de 2004). Una característica distintiva de tales productos y actividades de investigación es su carácter dual, que se enlaza al aprendizaje y la enseñanza de un tópico particular. En efecto, las secuencias de este tipo caen en la tradición de la investigación-acción ya que son utilizadas tanto como herramientas de investigación, así como innovaciones que apuntan hacia el manejo de los problemas de aprendizaje relacionadas con un tema específico (Meheut y Psilos, 2004; Leach y Scott, 2002).

Una característica distintiva del modelo didáctico aplicado

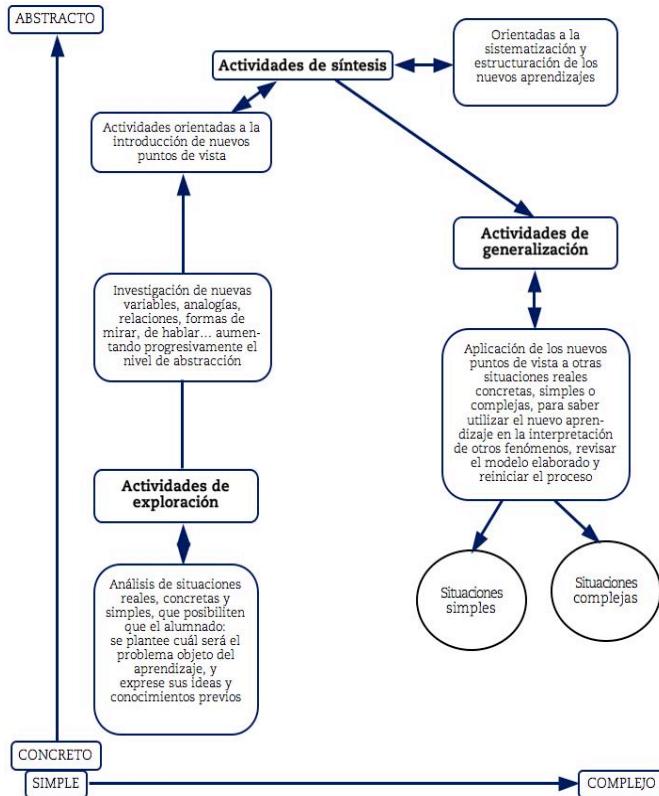


Figura 3. Esquema de las secuencias de enseñanza-aprendizaje de la unidad didáctica desarrollada (Adaptado de Sanmartí, 2002).

por los autores es la de una unidad con una o más secuencias de actividades para el aprendizaje. A partir del estudio de situaciones transformadas en problemas para los alumnos, éstos expresan sus ideas y el profesorado les ayuda a ponerlas en juego, promoviendo la discusión sobre aspectos que son relevantes en relación con el modelo o teoría científica de referencia, es decir, el profesor gestiona la selección de los aspectos a discutir, y ayuda a tomar conciencia y jerarquizar las ideas relevantes que se van construyendo. Así, partiendo de las experiencias previas e ideas del alumnado, se promueve la construcción de significados progresivamente más abstractos y complejos (García y Sanmartí, 2006).

Como síntesis, se propone planificar la enseñanza como un proceso que parte del análisis de situaciones concretas, cercanas al mundo de los estudiantes, para ir introduciendo en forma gradual entidades menos familiares y más abstractas —generadas en el marco de la ciencia— para explicar los hechos seleccionados. Y, a la vez, ir de lo simple a lo complejo.

Tal secuencia de actividades puede resumirse en el esquema de la figura 3, en el que se procede de lo concreto hacia lo abstracto y de lo simple a lo complejo, de preferencia a lo largo de la diagonal, incluyendo actividades de exploración, como lo más simple y concreto; actividades de generalización, un poco más abstractas pero muy complejas, y actividades de síntesis, medianamente complejas pero muy abstractas.

Por otro lado, si la intención es utilizar las secuencias didácticas para introducir la dimensión CTS, es importante que el profesor no pierda de vista las interacciones Ciencia-Tecnología-Sociedad de los contenidos temáticos, así como el orden y la organización de las actividades que se van a presentar, lo cual deberá ser congruente con los planteamientos de la enseñanza CTS de la ciencia, que son ilustrados en la figura 4 (Aikenhead, 1994).

En este diagrama se muestra que la instrucción CTS debe partir de los acontecimientos cotidianos que le son familiares al estudiante, o bien, de algún problema social relevante para él y su comunidad, como por ejemplo: ¿Aprobarías la implantación de una planta nucleoeléctrica en tu localidad? o ¿Qué tan inquietante puede ser la presencia de metales pesados en la cubierta cerámica de la loza que utilizas para comer? o ¿Cómo podríamos contribuir a la solución del problema de lluvia ácida? Ahora bien, para resolver un problema social por lo regular es necesario entender algo sobre tecnología (dado que vivimos en un mundo donde las personas tienen más contacto con lo tecnológico que con lo científico). Por ese motivo, en el diagrama aparece una flecha que parte de lo social, atraviesa por la tecnología (la dona negra de la figura 4), cruza por el área de la ciencia y vuelve nuevamente a la sociedad.

La figura indica que ambos aspectos, el social y el tecnológico, nos conducen al desarrollo de un tema de ciencia (el círculo central en la figura), siendo el contenido científico el que ayudará a los estudiantes a entender los aspectos tecnológicos y sociales ya involucrados. Inmediatamente después, entraremos en el terreno tecnológico nuevamente, pero ahora a una mayor profundidad, una vez que se han desarrollado los aspectos científicos. Finalmente, la secuencia concluye de nuevo en la sociedad, dirigiéndose hacia la respuesta a la pregunta o problema social inicial.

Importancia del tema de ácidos y bases

Los ácidos y las bases son sumamente importantes en numerosos y diversos procesos químicos que ocurren a nuestro alrededor, desde procesos biológicos hasta industriales, desde reacciones en el laboratorio a otras en nuestro ambiente, incluso algunos que se llevan a cabo en nuestro organismo. Así, el tiempo requerido por un objeto metálico sumergido en agua para corroerse, la capacidad de un ambiente acuático para soportar la vida de los peces y vegetales, y la suerte de contaminantes químicos precipitados del aire por la lluvia, son críticamente dependientes de la acidez o basicidad de las disoluciones.

La acidez y la basicidad constituyen una dicotomía en Química tan importante como "el análisis y la síntesis" o "lo estático y lo dinámico" o "lo puro y lo impuro" o "lo *in vivo* vs. lo *in vitro*". La ciencia logra progresar muchas veces gracias al planteo de este tipo de dicotomías que nos permite caracterizar los hechos científicos en uno u otro extremo, que mantienen al análisis científico en una "tensión permanente" (Hoffmann, 1995).

La función que desempeñan los ácidos y las bases es fun-

damental para entender numerosos y diversos fenómenos y procesos que se presentan en los seres vivos (incluyendo al ser humano). Así, por ejemplo:

- La acidez y la basicidad son sumamente importantes en el campo de la salud pues, por ejemplo, el pH urinario de individuos normales se ubica entre el intervalo de 4.5 a 8.0, variando estos valores según la función renal, el tipo de dieta o los medicamentos consumidos, el estado ácido-básico sanguíneo o el tiempo de obtenida la muestra. Las dietas altamente proteicas acidifican la orina, en cambio aquellas ricas en vegetales la alcalinizan. La orina alcalina puede ser indicio, por ejemplo, de insuficiencia renal o de infección del tracto urinario; la orina ácida puede ser manifestación de enfisema pulmonar o de diabetes.
- A nivel del estómago se produce un tratamiento químico intenso de los alimentos por la acción del jugo gástrico, que contiene ácido clorhídrico, responsable de que el pH del estómago sea inferior a 2, que evita la contaminación microbiana y favorece la acción de las enzimas presentes en este jugo.
- La sangre humana es un complejo medio acuoso con un pH amortiguado entre 7.2 y 7.4; cualquier insignificante variación en el pH de este valor resulta en una severa respuesta patológica y, eventualmente, la muerte. La función de la sangre se lleva a cabo gracias a la presencia de la hemoglobina y del ácido carbónico, los que contribuyen al equilibrio-desequilibrio del pH sanguíneo, sin cuya presencia la sangre transportaría al oxígeno por todo el cuerpo sin liberarlo, con lo cual las células y todo el organismo, morirían por falta de oxígeno.
- En la denominada *diabetes mellitus* tipo I (diabetes insulinodependiente), la producción de la hormona insulina es escasa o nula. La mayoría de los pacientes desarrollan la enfermedad antes de los 30 años, presentando síntomas que se inician súbitamente y pueden evolucionar rápidamente a una afección llamada cetoacidosis diabética. A

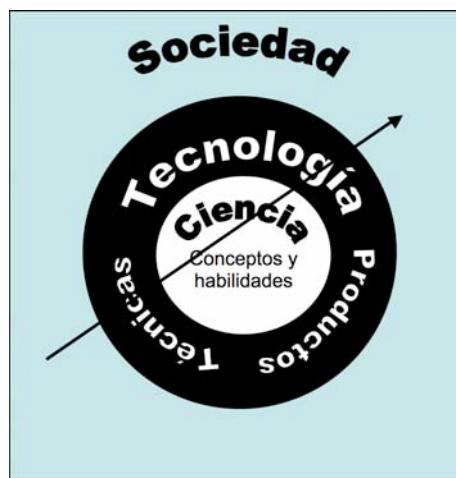


Figura 4. Un diagrama que marca una secuencia para la enseñanza CTS de la ciencia. (Tomada de Aikenhead, 1994.)

pesar de los elevados valores de glucosa en la sangre, la mayoría de las células no pueden utilizar este azúcar sin la insulina y, por tanto, recurren a otras fuentes de energía; las células grasas comienzan a descomponerse y producen cuerpos cetónicos, compuestos tóxicos que pueden producir acidez en la sangre (cetoacidosis). El síntoma inicial de la cetoacidosis diabética consiste en que la respiración se vuelve profunda y rápida, debido a que el organismo intenta corregir la acidez de la sangre. Si no se aplica algún tratamiento, la cetoacidosis diabética puede progresar y llevar a un coma o a la muerte, a veces en pocas horas.

- El compostaje es un proceso biooxidativo de degradación de residuos orgánicos que requiere de determinadas condiciones de aireación, temperatura, humedad y pH, que favorezcan la acción de los microorganismos.
- El pH del suelo (de la disolución acuosa del suelo en un momento dado) influye de forma decisiva en la mayor o menor asimilabilidad de los diferentes nutrientes necesarios para las plantas. El pH "ideal", en cada caso dependerá de la naturaleza del suelo, del cultivo en cuestión y del elemento fertilizante considerado. El pH del suelo es un elemento de diagnóstico de suma importancia, siendo resultado de una serie de factores y a su vez causa de muchos problemas agronómicos. Aunque el rango óptimo de pH en el que crecen óptimamente la mayoría de las plantas cultivadas oscila entre 6 y 7 unidades de pH, habitualmente el pH del suelo de los jardines varía entre 4.5 y 8 unidades de pH, que en función de lo que se desee plantar puede corregirse aplicando ciertos complementos minerales. Así, rosales y tulipanes crecen óptimamente en suelos alcalinos; dalias y gladiolos en suelos neutros o poco ácidos; gardenias y hortensias en suelos muy ácidos.

Las concepciones alternativas de profesores y alumnos en relación con el tema ácido-base

No obstante la importancia y la cotidianidad de los conceptos ácido-base y pH, éstos no son de todo claros para los estudiantes e incluso algunos estudios declaran que lo mismo le sucede a los docentes. Dhindsa (2002) evaluó las preconcepciones de pH, ácido, base, y neutralización en los docentes y aunque los encuestados respondieron que la enseñanza de estos conceptos resulta sencilla, se encontró que el entendimiento que ellos tienen no es del todo aceptable.

Por ejemplo, en relación con el concepto de neutralización tres cuartas partes de los encuestados define la neutralización en términos de pH=7.0. Algunos investigadores piensan que la polisemia que conlleva el significado de neutralidad y neutralización, provoca confusión entre profesores y estudiantes (Jiménez-Liso y De Manuel-Torres, 2002), ya que consideran que en el punto de equivalencia la disolución siempre es neutra, independientemente de la fuerza de los ácidos y bases que reaccionan.

Griffiths (1994) identifica quince concepciones alternativas relacionadas con el tema de ácidos y bases (la mayor parte de ellas previamente informadas por Ross y Munby, 1991),

cinco son relevantes al equilibrio ácido-base: "más gas hidrógeno es desplazado por un ácido fuerte porque el ácido fuerte contiene más enlaces de hidrógeno que un ácido débil", "todos los ácidos son fuertes y poderosos", "los ácidos fuertes tiene un pH mayor que los ácidos débiles", "la neutralización siempre resulta en disoluciones neutras" y "a causa de que una sal no contiene ni hidrógeno ni un grupo hidroxilo, sus disoluciones no pueden contener iones hidronio o hidróxido".

En su recopilación de ideas previas sobre Química, Garnett, Garnett y Hackling (1995) enlistan unas pocas concepciones alternativas, entre ellas: "un ácido débil no se desempeña tan bien como uno fuerte" y "el pH es una medida de la acidez, pero no de la basicidad". Citan estos autores que existe confusión entre fuerza ácido-base y concentración, en el tema de la hidrólisis de las sales, en la selección y el papel de los indicadores en la titulación ácido-base, en la diferencia entre el punto de equivalencia y el punto final de la titulación y en las propiedades anfotéricas de las sustancias.

Jiménez y otros (2000) al efectuar un estudio en España con 450 alumnos universitarios, preferentemente de la licenciatura de Química, encontraron coincidencias entre las ideas que manejan sobre conceptos relacionados con ácidos y bases y las que aparecían en diversos mensajes publicitarios.

Alvarado (2007) efectuó el análisis del tratamiento de diversos aspectos del tema de acidez y basicidad en libros de texto de Química del tercer grado de nivel secundaria, autorizados por la Secretaría de Educación Pública de México, desde el punto de vista de si podían ser considerados como agentes mediadores para el aprendizaje conceptual, procedimental y actitudinal, identificando problemas conceptuales que podían influir desfavorablemente en el aprendizaje conceptual, por parte de los alumnos, sobre todo si no eran detectados y aclarados por el profesor.

Las descripciones que los alumnos hacen de los ácidos y las bases las realizan con base a un modelo continuo (nivel macroscópico) y en ocasiones con descripciones antropomórficas. Únicamente un bajo porcentaje maneja un modelo de partícula en su descripción (Demerouti, Kousathana y Tsaparis, 2004). Esta misma investigación señala que las concepciones alternativas más comunes que los estudiantes poseen respecto a los ácidos y las bases, son las siguientes:

- Un ácido es cualquier cosa que desgasta los materiales o que puede quemarlos
- La presencia de un ácido se identifica únicamente por la irritación que provoca
- Una base es algo que enmascara un ácido
- La neutralización es la descomposición de un ácido o el proceso que transforma un ácido
- La diferencia entre un ácido fuerte y un ácido débil, es que los ácidos fuertes se "comen" o corroen más rápidamente los materiales

Estos mismos autores examinan una serie de nuevos temas, como la diferencia entre los fenómenos de la disociación

y la ionización, sustancias anfipróticas, equilibrio iónico y especies presentes en disolución acuosa, neutralización de ácidos fuertes y débiles, pH de ácidos y bases muy diluidos, eficiencia y comportamiento de soluciones amortiguadoras, el pH y el grado de ionización y el efecto del ion común.

Otra dificultad que se ha detectado en la enseñanza de los conceptos ácido-base es que conforme los cursos de Química son más avanzados, los docentes van redefiniendo los conceptos que los estudiantes manejan en los cursos básicos. Es decir, en un primer curso se define un ácido bajo la referencia del modelo de Arrhenius y luego, en un curso posterior, el concepto se vuelve a definir pero ahora en función del de Bronsted-Lowry, lo que provoca confusión entre los estudiantes.

La unidad didáctica “Ácidos y bases: sustancias cotidianas”

En esta última sección se presenta una Unidad Didáctica para enseñar la Química de ácidos y bases a través de modelos y modelización con una orientación CTS, que pretende hacer ver a los alumnos cómo y por qué se han construido estos modelos científicos y, a la vez, proporcionar los recursos necesarios para que comprendan su valor epistemológico, así como su enorme potencial para transformar el entorno.

Como un primer paso, se ubicó el contexto educativo que enmarca la enseñanza-aprendizaje de la Química en el Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), bachillerato universitario¹ que promueve en sus egresados una cultura integral básica con una visión humanística y científica del conocimiento. Los planes de estudio y la filosofía de enseñanza en el Colegio, dan prioridad a la investigación, el análisis, la experimentación, la argumentación y la reflexión como elementos indispensables para la construcción del conocimiento. Su enfoque pedagógico concibe al docente como mediador y guía del proceso enseñanza-aprendizaje, centrando la atención en el estudiante como actor principal del proceso.

Insertar las secuencias didácticas en la dimensión CTS en estos cursos, resulta relativamente sencillo, ya que los planes de estudio del CCH tienen un “sabor” CTS pleno, como puede constatarse en los nombres de las unidades de los cuatro cursos semestrales de Química (ver la tabla 1), los cuales tienen mucho más que ver con problemas sociales que con contenidos de Química. A los contenidos disciplinarios se les da importancia, pero dentro del desarrollo de los problemas sociales que se refieren en esa Tabla.

En esta Unidad Didáctica se abordan muchos de los contenidos relacionados con las reacciones ácido-base, habitualmente considerados en los currículos de Química para este nivel. Puede decirse que es una propuesta ambiciosa, que

Tabla 1. Nombres de las unidades de los programas de estudios de la Química I a IV del CCH.

Química I

Primera Unidad. Agua, compuesto indispensable
Segunda Unidad. Oxígeno, componente activo del aire

Química II

Primera Unidad. Suelo, fuente de nutrientes para las plantas
Segunda Unidad. Alimentos, proveedores de sustancias esenciales para la vida
Tercera Unidad. Medicamentos, productos químicos para la salud

Química III

Primera Unidad. La industria química en México
Segunda Unidad. Industria minero-metalúrgica: herencia no aprovechada
Tercera Unidad. Fertilizantes: productos químicos estratégicos

Química IV

Primera Unidad. Las industrias del petróleo y de la petroquímica
Segunda Unidad. El mundo de los polímeros

busca que los alumnos desarrollen una visión científica en relación con estos fenómenos. Esto supone, desde nuestro punto de vista y simultáneamente:

- 1) Consolidar una visión de la ciencia como una cultura que elabora modelos teóricos para explicar los fenómenos, lo que no sucede espontáneamente entre los alumnos
- 2) Discernir algunas de las múltiples situaciones que pueden interpretarse a partir de los modelos teóricos correspondientes, es decir, reconocer la ubicuidad de los fenómenos ácido-base en el entorno.
- 3) Apreciar la reciprocidad intrínseca de la construcción del conocimiento y la modificación sustancial del entorno, tanto social como natural, con las consecuentes implicaciones a nivel de responsabilidades y oportunidades como ciudadanos, como individuos con un papel activo en el devenir de su sociedad.

Objetivos

En este trabajo se pretende desarrollar la capacidad de los alumnos de pensar teóricamente a través de modelos y de aplicarlos al análisis de situaciones o hechos de la vida real. Adecuándonos al currículo de Química vigente, este objetivo general se concreta en los siguientes propósitos específicos:

- Realizar una reacción de saponificación para que los alumnos discutan que han dejado de existir hidróxido de sodio y ácido graso en el matraz de reacción, para aparecer un jabón; se ha producido una reacción ácido-base de tipo Arrhenius.
- Describir cómo a partir de la producción industrial de fertilizantes, entendida como reacción ácido-base, es posible producir actualmente alimentos en cantidad suficiente para alimentar a la población mundial.
- Emplear la historia para enseñar Química, gracias al ejemplo de las aportaciones de Nernst a la termodinámica en los tiempos de la síntesis de Haber-Bosch.

¹ El término de “bachillerato universitario” es común en México, donde diversas instituciones universitarias tienen dentro de su organización un nivel de bachillerato que se ofrece a sus estudiantes. En el CCH su lema es: aprender a aprender, aprender a hacer, aprender a ser.

— Explicar de manera general algunas de las manifestaciones médicas del desequilibrio de los mecanismos a través de los cuales se regula la acidez en el cuerpo humano con la ayuda de amortiguadores, y otros fenómenos tales como la acidez estomacal o la cetoacidosis diabética.

Drechsler y van Driel (2007) indican que la utilización de modelos y del modelaje forma parte del conocimiento pedagógico del tema de la acidez y la basicidad de los profesores. Indican estos autores que es muy importante que los alumnos distingan claramente entre el nivel fenomenológico y el de partículas, el cual será un objetivo primordial de nuestra unidad didáctica.

Metodología y secuenciación para la intervención pedagógica

Hay investigadores, como Adey (1997), que están preocupados sobre la relación entre la progresión del aprendizaje y la secuenciación de contenidos y consideran importante investigar si el conocimiento de cualquier tema puede ser organizado de acuerdo con una jerarquía que favorezca el entendimiento. A los autores de este trabajo nos parece que la secuenciación inducida por la figura 3 es una respuesta conveniente a esta preocupación. Se ha elaborado la figura 5 de una porción de la tercera secuencia didáctica de este trabajo (ver en la tercera de forros esta figura en colores, para entender los “azul, violeta, amarillo y verde” del párrafo siguiente; asimismo ver más adelante la descripción de esta tercera secuencia). Se han colocado los fondos elípticos en azul para connotar los aspectos de índole social, los rectángulos en violeta (Química) y amarillo (Biología) para los aspectos científicos y los verdes para los tecnológicos.

Se ha utilizado en estos diagramas el criterio de secuenciación previsto por Aikenhead en la figura 4, ya que todo parte de la pregunta de interés social: ¿Podríamos pensar que la población mundial de seis mil millones de seres humanos podría alimentarse hoy sin la producción de fertilizantes? La respuesta nos lleva primero a estudiar la fijación del nitrógeno atmosférico y de aquí nos hace desembocar en la tecnología de Haber y Bosch para producir el amoníaco (es decir, en un aspecto tecnológico). De allí vamos hacia los temas científicos del equilibrio químico y la reversibilidad. La discusión de la base científica del proceso nos conduce a Nernst como el origen de su fundamento mismo y volvemos la cara hacia los aspectos tecnológicos de la catálisis y a los datos de la elevación de la producción agrícola desde la utilización de los fertilizantes, es decir, volvemos a los aspectos sociales. Finalmente vamos de allí hacia los amortiguadores en el organismo.

La unidad didáctica se planeó con una introducción y tres secuencias:

- 1) La introducción intenta motivar a los estudiantes acerca de la existencia en el entorno cotidiano de ácidos y bases; se induce a los alumnos de manera práctica en el uso de indicadores para definir la acidez o basicidad de las sustancias; se llama la atención sobre esta dualidad impor-

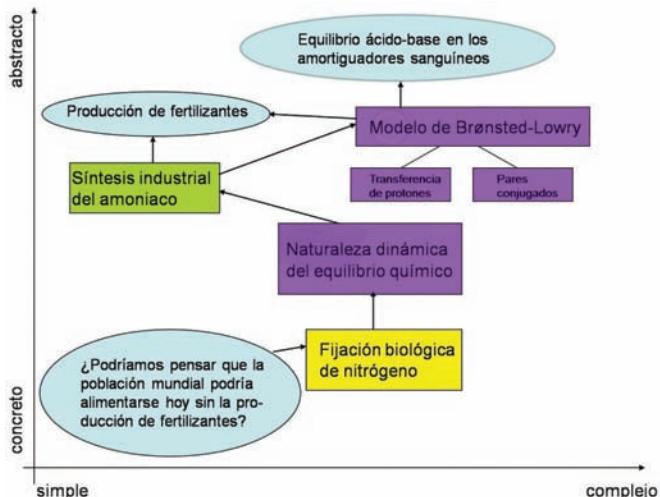


Figura 5. Parte de la tercera secuencia de enseñanza, colocada en el diagrama correspondiente a la figura 3.

tante en el terreno de la Química, desembocando en la caracterización de los ácidos y las bases. En este punto vale la pena utilizar mapas conceptuales como los desarrollados por Furió, Calatayud y Bárcenas (2007) para representar las interpretaciones macroscópicas y nanoscópicas de la materia.

- 2) La primera de las secuencias introduce la modelización como instrumento básico para construir el conocimiento científico. La secuencia se basa en diagramas que muestran el modelo discontinuo y el continuo de la estructura de la materia (Angelini *et al.*, 2001), así como la propuesta de modelos por parte de los estudiantes para explicar el cromatograma de una gota de tinta sobre un papel filtro con la presencia de un disolvente.
- 3) La segunda secuencia introduce el modelo de Arrhenius de los ácidos y las bases, que es la primera interpretación nanoscópica de su comportamiento. Esto se logra ubicando a los alumnos en el avance de la fisicoquímica al final del siglo XIX e introduciendo el concepto de ion de Faraday, y la propuesta de Arrhenius con su teoría de la dissociación electrolítica. Como un ejemplo CTS de este tipo de reacciones ácido-base, se presenta una saponificación, para obtener un jabón.
- 4) La tercera secuencia introduce el modelo de Brønsted y Lowry. Para llegar a ese punto se presenta primero el problema de la fijación del nitrógeno atmosférico, sólo capaz de ser realizado por algas cianoprocariontes, rhizobia y otras bacterias que de una forma simbiótica con las leguminosas logran la fijación, debido a que poseen la enzima nitrogenasa. La síntesis de Haber del amoníaco vino a aportar una forma industrial de realizar el proceso de fijación. Aquí se discutirá en clase sobre la historia de este alcance y la influencia de Nernst, Haber y Bosch (Dronfield y Morris, 2007). Habiendo introducido el amoníaco, se discute sobre los fertilizantes y su importancia. Tambi-

én se lleva a cabo su reacción en fase gaseosa con el cloruro de hidrógeno, con lo cual se presenta el modelo de Brønsted de transferencia del protón, como explicación nanoscópica del fenómeno. Finalmente, como una aplicación con el enfoque CTS, se introduce la presencia de ácidos y bases en los procesos del organismo humano (con animaciones y simulaciones de cómputo se aborda la presentación de los amortiguadores sanguíneos) y la lectura de un artículo sobre la diabetes, como un ejemplo de la importancia de la regulación de los equilibrios ácido-base.

Las tres secuencias descritas contendrán, entonces, los contenidos que se describen en la tabla 2, los que se planea que tomen 10 sesiones de dos horas cada una.

Conclusiones

Concluye de esta forma el diseño seguido para la aplicación de una unidad didáctica para la enseñanza de la acidez y la basicidad en el bachillerato, mediante el empleo de los modelos científicos de Arrhenius y Brønsted-Lowry con base en los diagramas de García y Sanmartí (2006), dentro de un esquema que sigue la secuenciación CTS propuesta por Aikenhead (1994).

Sabemos que no estamos exentos de problemas para la aplicación y estamos prevenidos de ello. Para empezar, sabemos que los estudiantes poseen unas concepciones alternativas que son sumamente estables y resistentes, y, por otra parte, sabemos que la interpretación nanoscópica de la acidez-basicidad resulta muy difícil de comprender, pues no resulta simple aceptar que es la transferencia de supuestos iones hidrógeno la responsable del fenómeno, cuestión que manifiesta un alto grado de abstracción.

Hemos empleado este artículo para hablar de los fundamentos teóricos de la presentación y esperamos dedicar otro plenamente a los resultados obtenidos, los cuales ya vienen en camino.

Bibliografía

- Acevedo, J.A. Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: Educación científica para la ciudadanía, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1), 3-16, 2004.
- Adey, P., Dimensions of progression in the curriculum, *Curriculum Journal*, 8(3), 367-391, 1997.
- Aikenhead, G.S., What is STS Science Teaching? In: Solomon, J. and Aikenhead, G. (eds.), *STS Education: International Perspectives on Reform*, New York: Teachers College Press, 1994. Hay una versión electrónica incompleta de este capítulo en <http://www.usask.ca/education/people/aikenhead/sts05.htm>. La última consulta se hizo el 7 de agosto de 2008.
- Aikenhead, G.S., Educación Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS): una buena idea como quiera que se le llame, *Educ. quím.*, 16(2), 304-314, 2005. Traducción del capítulo 5 'STS education: A rose by any other name' en: Roger Cross (ed.) *A vision for science education. Responding to the work of Peter Fensham*, New York: RoutledgeFalmer, 2003. Disponible la versión en español en la siguiente dirección electrónica http://garritz.com/andoni_garritz_ruiz/documentos/ciencia_sociedad/Aikenhead%20%27a%20rose%20by%20any%20other%20name%27%20EQ%202005.pdf. La última consulta se hizo el 7 de agosto de 2008.
- Aikenhead, G.S., Research Into STS Science Education, *Educ. quím.*, 16(3), 384-397, 2005. Una versión electrónica de este artículo está ubicada en http://garritz.com/andoni_garritz_ruiz/documentos/ciencia_sociedad/Aikenhead%20%27a%20rose%20by%20any%20other%20name%27%20EQ%202005.pdf.

Tabla 2. Contenidos disciplinarios y CTS en las tres secuencias didácticas que se desarrollaron.

| Contenidos disciplinarios | Contenidos CTS |
|---|--|
| Caracterización de ácidos y bases Por sus propiedades macroscópicas. Por las nanoscópicas. Evolución de los conceptos de ácido y base | Sustancias cotidianas Indicadores Dualidades en química |
| Modelo de Arrhenius Disociación electrolítica y conductividad de disoluciones acuosas de ácidos y de bases. Neutralización Hidrólisis Alcances del Modelo de Arrhenius | Reacción de saponificación |
| Equilibrio químico y reversibilidad Naturaleza dinámica del equilibrio químico. Modelo de Brønsted-Lowry. Transferencia de protones. Pares conjugados. Equilibrio iónico del agua. Fuerza relativa de ácidos y bases. Concepto de pH. Estudio cualitativo de sistemas amortiguadores. | Fijación de nitrógeno Síntesis industrial del amoníaco Análisis histórico del proceso Haber Producción de fertilizantes Amortiguadores en el organismo Diabetes |

- garritz_ruiz/documentos/ciencia_sociedad/Aikenhead%20Research%20into%20STS%20Educ%20EQ%202005.pdf. La última consulta se hizo el 7 de agosto de 2008.
- Alvarado, C., *Los libros de texto de Química de secundaria ¿Mediadores para el aprendizaje del tema de acidez y basicidad?* Tesis de Maestría en Investigación en la Enseñanza y el Aprendizaje de las Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas, Universidad de Extremadura, Badajoz, España, 2007.
- Angelini, M.C., Baumgartner, E., Guerrien, D., Landau, L., Lastres, L., Roverano, M., Sileo, M., Torres, N. y Vázquez, I., Estrategia didáctica para vincular distintos niveles de conceptualización. Estudio de un caso (Parte 1), *Educ. quím.*, **12**(3), 149-157, 2001.
- Bennett, J. y Holman, J., Context-based approaches to the teaching of Chemistry: What are they and what are their effects? En J.K. Gilbert et al. (eds). *Chemical Education: Towards Research-Based Practice*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 165-184, 2002.
- Bennett, J., Lubben, F. y Hogarth, S. Bringing Science to Life: A Synthesis of the Research Evidence on the Effects of Context-Based and STS Approaches to Science Teaching, *Science Education*, **91**, 347-370, 2007.
- Chamizo, J. A., Hacia una cultura química, *Ciencia* (Revista de la Academia Mexicana de Ciencias), **56**(2), 17-26, 2005.
- Demerouti, M., Kousathana, M. y Tsaparlis, G. Acid-base Equilibria, part I. Upper Secondary Students, Misconceptions and Difficulties, *The Chemical Educator*, **9**, 122-131, 2004.
- Dhindsa, H.S., Preservice science teachers' conceptions of pH, *Australian Journal of Education in Chemistry*, **60**, 19-24, 2002.
- Drechsler, M. y van Driel, J.H. Experienced Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Teaching Acid-base Chemistry, *Research in Science Education*, **38**, 611-631, 2008.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E. y Scott, P., Constructing scientific knowledge in the classroom, *Educational Researcher*, **23**(7), 5-12, 1994.
- Dronsfield, A.T. y Morris, P., Who really discovered the Haber process?, *Education in Chemistry*, **44**(3), 82-85, 2007.
- Erduran, S., Bonding epistemological aspects of models with Curriculum design in acid-base chemistry. En: Izquierdo, M., Caamaño, A., y M. Quintanilla, *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*. Bellaterra: Servei de Publicacions-UAB, 2007.
- Fensham, P.J., Science for all: A reflective essay, *Journal of Curriculum Studies*, **17**(4), 415-435, 1985.
- Furió-Más, C., Calatayud, M.L. y Bárcenas, S.L., Surveying Students' Conceptual and Procedural Knowledge of Acid-Base Behavior of Substances, *Journal of Chemical Education*, **84**(10), 1717-1724, 2007.
- Gallagher, J.J., A broader base for science education, *Science Education*, **55**, 329-338, 1971.
- García, J.E., Los problemas de la educación ambiental: ¿Es posible una educación ambiental integradora?, *Investigación en la Escuela*, **46**, 5-26, 2002.
- García, P. y Sanmartí, N. La modelización: Una propuesta para repensar la ciencia que enseñamos. En: Quintanilla M. y Adúriz-Bravo A. (eds.), *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas*. Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile, 2006.
- García-Palacios, E.M., González-Galbarte, J.C., López-Cerezo, J.A., Luján, J.L., Martín-Gordillo, M., Osorio, C. y Valdés, C. *Ciencia, Tecnología y Sociedad: una aproximación conceptual*. Madrid: Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Colección: Cuadernos de Iberoamérica, 2001.
- Garnett, P.J., Garnett, P.J. y Hackling, M.W. Students' Alternative Conceptions in Chemistry: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning, *Studies in Science Education*, **25**, 69-95, 1995.
- Garritz, A., Ciencia-Tecnología-Sociedad a diez años de iniciada la corriente, *Educ. quím.*, **5**(4), 217-223, 1994. Una versión electrónica de este artículo puede obtenerse de la URL <http://www.oei.es/salactsi/quimica.htm>. Disponible también en <http://depa.pquim.unam.mx/sie/Documentos/054-bach.pdf>. La última consulta en ambos se hizo el 7 de agosto de 2008.
- Garritz, A., Análisis del conocimiento pedagógico del curso "Ciencia y Sociedad" a nivel universitario, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, **4**(2), 226-246, 2007. Una versión electrónica puede obtenerse en http://www.apac-eureka.org/revista/Volumen4/Numero_4_2/Garritz_2007.pdf. La última consulta se hizo el 7 de agosto de 2008.
- Giere, R.N. Using Models to Represent Reality. En: Magnani, L., Nersessian, N.J. y Thagard, P. (eds.). *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*, pp. 41-57. Nueva York: Kluwer and Plenum Publishers, 1999.
- Gilbert, J.K. y Boulter, C.J. (eds.). *Developing models in Science Education*. Kluwer: Dordrecht, The Netherlands, 2000.
- Gómez, A. *El modelo cognitivo de ciencia y la ciencia escolar como actividad de formación. Configuraciones formativas* (Tomo I). México: Universidad de Guanajuato, 2006.
- Griffiths, A.K. En: Schmidt, H. J., (ed.), *Proceedings of the Symposium Problem Solving and Misconceptions in Chemistry and Physics*; ICASE: Dortmund, Germany; pp. 70, 1994.
- Hoffmann, R., *Lo mismo y no lo mismo*, México: Fondo de Cultura Económica. Décima parte: Las Dualidades que vivifican, 1995.
- Izquierdo, M., Caamaño, A., y Quintanilla, M., *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*. Bellaterra: Servei de Publicacions-Universitat Autònoma de Barcelona, 2007. Este libro puede bajarse de la siguiente URL (consultado por última vez en septiembre de 2008), http://www.puc.cl/sw_educ/educacion/grecia/plano/html/pdfs/biblioteca/LIBROS/BL003.pdf
- Jiménez-Liso, M. R., De Manuel-Torres, E., González-García,

- F. y Salinas-López, F. La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos, *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 451-461, 2000.
- Jiménez-Liso, M.R. y De Manuel-Torres, E., La neutralización ácido-base a debate, *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 451-464, 2002.
- Justi, R., La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos, *Enseñanza de las ciencias*, 24(2), 173-184, 2006.
- Justi, R. y Gilbert, J., Models and modelling in chemical education, en J.K. Gilbert *et al.* (eds.), *Chemical Education: Towards Research-base Practice*, pp. 47-68, Dordrecht: Kluwer, 2002.
- Leach, J. y Scott, P., Designing and evaluating science teaching sequences: an approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning, *Studies in Science Education*, 38, 115-142, 2002.
- Martín-Gordillo, M. y Osorio, C. (2003). Educar para participar en ciencia y tecnología. Un proyecto para la difusión de la cultura científica, *Revista Iberoamericana de Educación*, Editada por la OEI, Número 32, 165-210. Una versión electrónica de este artículo está disponible en la siguiente URL: <http://www.campus-oei.org/revista/rie32a08.htm>, consultada el 23 de agosto de 2008.
- Matthews, M., Models in science and in science education. *Science & Education*, 16(7), 647-652, 2007.
- Meheut, M. y Psilos, D., Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research, *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535, 2004.
- Membela, P., Alfabetización científica y ciencia para todos en la educación obligatoria, *Alambique*, 13, 37-44, 1997.
- Membela, P., Reflexión desde la experiencia sobre la puesta en práctica de la orientación ciencia-tecnología-sociedad en la enseñanza científica, *Educ. quím.*, 16(3), 404-409, 2005.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A., *Aprender y enseñar ciencia*. España: Morata, 1998.
- Ross, B. y Munby, H., Concept mapping and misconceptions: a study of high school students' understanding of acids and bases, *International Journal of Science Education*, 13, 11-23, 1991.
- Sánchez Blanco, G. y Valcárcel Pérez, M.V., Diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales, *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 33-44, 1993.
- Sanmartí, N. *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. España: Síntesis, 2002.
- Solbes, J., y Vilches, A., STS interactions and the teaching of physics and chemistry, *Science Education*, 81, 377-386, 1997.
- Solbes, J., Vilches, A. y Gil, D., El enfoque CTS y la formación del profesorado. En: Membela, P. (Ed.), *Enseñanza de las Ciencias desde la perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad*. Capítulo 11 (pp. 163-175). Madrid: Nancea, 2001.
- Talanquer, V., El movimiento CTS en México, ¿Vencedor vencido?, *Educ. quím.*, 11(4), 381-386, 2000.
- Tsai, C.C. A Science Teacher's Reflections and Knowledge Growth About STS Instruction After Actual Implementation, *Science Education*, 86, 23-41, 2001.
- Vázquez, A., Acevedo, J.A. y Manassero, M.A. Más allá de la enseñanza de las ciencias para científicos: hacia una educación científica humanística, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4, (2), 2005. Consultada por última ocasión el 7 de agosto de 2008 en la URL: http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen4/ART5_Vol4_N2.pdf
- Vilches, A. y Furió, C. Ciencia, Tecnología, Sociedad: Implicaciones en la Educación Científica para el Siglo XXI. Trabajo presentado en el I Congreso Internacional "Didáctica de las Ciencias", del 6 al 10 de diciembre 1999 en el Centro de Convenciones Pedagógicas Cojimar, Ciudad de La Habana, Cuba. Una versión electrónica de este artículo puede obtenerse en la URL <http://www.oei.es/salactsi/ctseducacion.htm>, en la que fue consultado por última ocasión el 23 de agosto de 2008.
- Zenteno, B.E. *Secuencias didácticas en la dimensión Ciencia-Tecnología-Sociedad para la educación media superior de la química*, Tesis para obtener el grado de Maestría en Docencia para la Educación Media Superior, México: UNAM, 2007. Fue consultado por última ocasión el 7 de agosto de 2008 en la URL http://garritz.com/andoni_garritz_ruiz/documentos/zenteno-garritz_2007.pdf