

ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA ELECTROQUÍMICA CON ANALOGÍAS: UNA EXPERIENCIA EN EL AULA¹

Electrochemistry teaching-learning with analogies: a classroom experience

BEATRIZ GÓMEZ SALGADO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

CARMEN LAVÍN PUENTE

Profesora de la Facultad de Ciencias, Universidad de Valladolid.

RESUMEN

En este trabajo se presenta una propuesta, basada en el uso de analogías como estrategia didáctica, para la enseñanza y aprendizaje de la electroquímica en 2º curso de bachillerato. Esta propuesta tiene un doble objetivo: facilitar el aprendizaje de la materia y fomentar el interés de los estudiantes por la misma. Se puso en práctica en una clase con 36 alumnos de ese nivel educativo, poniendo especial énfasis en que participaran de forma activa en el desarrollo de las analogías. Los resultados obtenidos evidencian que el uso de analogías posibilita la adquisición de un aprendizaje significativo de conceptos electroquímicos así como la comprensión de lo que sucede a nivel microscópico en los procesos químicos. Los alumnos valoraron positivamente las analogías y manifestaron que aumentan su interés por la electroquímica.

Palabras clave: conceptos científicos, electroquímica, enseñanza de la química, estrategias de enseñanza, analogías, aprendizaje significativo, bachillerato.

ABSTRACT

In this work, it is presented a proposal for teaching and learning electrochemistry in high school by using analogies as didactic strategy. This proposal has a double goal: to facilitate the learning of the topic and to promote the interest of the students. It was implemented in a classroom of 36 students of that education level putting great emphasis on involving the students in the development of the analogies. The results obtained show that the use of analogies makes possible a meaningful learning of electrochemistry concepts as well as the understanding of what is occurring at the microscopic level in chemical processes. The students valued positively the analogies and expressed that they increase their interest on the subject.

Key words: scientific concepts, electrochemistry, chemical teaching, educational strategies, analogies, meaningful learning, high school.

¹ Recibido el 16-11- 2015, aceptado el 27-01- 2016

1. INTRODUCCIÓN

La electroquímica es un tema fundamental en el currículo de la asignatura Química en bachillerato, no sólo por su importancia teórica, sino porque resulta esencial para comprender muchos de los procesos que se producen en la vida cotidiana. Uno de los principales problemas que presenta la enseñanza de la electroquímica, y de la química en general, es que los alumnos consideran esta materia como abstracta y difícil, cuyo aprendizaje requiere un gran esfuerzo por su parte. Esto se debe, en parte, a la naturaleza compleja de la química, que utiliza tres niveles para describir los procesos químicos: el nivel macroscópico (sensorial o perceptivo), el nivel microscópico (átomos, moléculas, iones) y el nivel simbólico (símbolos químicos y ecuaciones matemáticas). Johnstone (1991) señala que estas tres formas de representación junto con la naturaleza abstracta de los conceptos científicos hacen difícil el aprendizaje de la química. Sin embargo, según Gabel (1999), la principal barrera para comprender la química, no son los tres niveles de representación, sino que se enseña predominantemente en el nivel más abstracto, el nivel simbólico.

Existe un consenso en la literatura de educación científica sobre la utilidad de estrategias de enseñanza analógicas para ayudar a profesores y a alumnos a superar las dificultades asociadas con la enseñanza y aprendizaje de conceptos científicos abstractos. Desde un punto de vista constructivista, el aprendizaje de la ciencia debería implicar a los alumnos en la construcción del conocimiento y en la creación de nuevas ideas a partir de lo que ya conocen (Driver, 1994). En este contexto, las analogías, al ayudar a los alumnos a establecer relaciones entre lo que conocen y lo que van a aprender, desempeñan un papel crucial en la visión constructivista del aprendizaje (Glynn, 2008). Como apuntan Fernández, González y Moreno (2003: 83) “aprender ciencias requiere reconstruir en el aula los conceptos científicos. El modelo analógico o analogía puede posibilitar esta construcción, ya que favorece la visualización de los conceptos científicos, conceptos que en la mayoría de los casos son abstractos”. La importancia de las analogías en la enseñanza de la química queda reflejada en la afirmación de Gabel (1999: 548): “la química no se puede explicar sin el uso de analogías o modelos”.

En las últimas décadas, se han realizado numerosas investigaciones centradas en los problemas que los alumnos encuentran en el aprendizaje de la electroquímica. Allsop y George (1982) señalan que los alumnos tienen dificultades al usar los potenciales de reducción estándar para predecir la espontaneidad de reacciones redox² y son incapaces de producir un diagrama de una celda electroquímica. Particularmente difícil les resulta entender la neutralidad eléctrica y

² Las reacciones redox, nombre simplificado de las reacciones de reducción-oxidación, son aquellas reacciones de tipo químico que llevan a la transferencia de electrones entre reactivos, de manera que hay sustancias que pierden electrones (se oxidan) y otras que ganan electrones (se reducen).

el flujo de corriente en las disoluciones electrolíticas y el puente salino. Así, creen que un puente salino proporciona un camino para el flujo de electrones, que los electrones pueden fluir a través del electrolito o que movimiento de los iones en la disolución no es una corriente eléctrica (Garnett y Treagust, 1992; Ogude 1994). El origen de estas creencias puede estar en que tienen la idea de que la corriente se debe únicamente al movimiento de electrones. Sanger y Greenbowe (1997) apuntan también como error común de los alumnos la creencia de que solo los iones negativamente cargados constituyen un flujo de corriente en el electrolito y el puente salino.

Las ideas erróneas que los alumnos tienen sobre conceptos básicos de electroquímica son difíciles de erradicar si no se utilizan estrategias didácticas adecuadas. En este trabajo, se presenta una experiencia educativa para la enseñanza y el aprendizaje de conceptos electroquímicos, incluidos en el currículo de bachillerato, basada en el uso de analogías. Nuestro objetivo es mostrar que la utilización de analogías, siguiendo una metodología activa que propicie la implicación y participación de los alumnos, es una estrategia didáctica muy útil en la enseñanza de la química en general, y de la electroquímica en particular.

2. LAS ANALOGÍAS COMO RECURSO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

En la enseñanza de las ciencias es frecuente que los profesores utilicen analogías para explicar conceptos científicos a los alumnos. Cuando se inicia una explicación con expresiones del tipo: “esto es como”, “es similar a”,...se está utilizando una analogía (Glynn y Takahashi, 1998). Las analogías usadas de esta forma, es decir, de una forma no sistemática y sin una planificación previa no suelen ser eficaces y pueden dar lugar a problemas en el aprendizaje (Thiele y Treagust, 1995). Por ejemplo, los alumnos pueden confundir el concepto científico con el análogo o atribuir propiedades del análogo al concepto. Glynn y Takahashi, (1998) señalan que para utilizar las analogías con eficacia es importante comprender qué es una analogía y cómo puede ayudar al aprendizaje.

En la literatura se encuentran muchas definiciones de analogía. En el sentido más simple, una analogía es una comparación entre dos dominios de conocimiento, uno que es familiar, denominado análogo, y otro que es desconocido, denominado tópico. Toda analogía consta, por tanto, de dos componentes: el análogo y el tópico. Fernández, Moreno y González (2003) sugieren añadir un tercer componente, al que denominan “la trama” o “relación analógica” y definen como el conjunto de relaciones entre análogo y tópico. De acuerdo con González (2005) “la analogía puede concebirse como un proceso en el que, mediante la comparación del análogo y del tópico, se establece una correspondencia de relaciones entre las características similares de ambos”. La finalidad de la analogía es, por tanto, “la comprensión y el aprendizaje del tópico mediante la transferencia de conocimiento del análogo al tópico” (González, 2003: 198).

Como recurso didáctico, las analogías actúan como puentes conceptuales entre lo ya conocido y lo nuevo, facilitando, por tanto, el aprendizaje significativo según la corriente constructivista (Glynn, 2007). Además, promueven el cambio conceptual (Brown, 1994) y favorecen el desarrollo de procedimientos y actitudes científicas en los alumnos (Oliva, 2004).

Para ayudar a los profesores de ciencias a usar las analogías de una forma sistemática y efectiva, Glynn (1991) ha propuesto el Teaching-With-Analogies Model (TWA), que consta básicamente de las siguientes etapas:

- Introducción del tópico o concepto a aprender.
- Presentación del análogo.
- Identificación de las características relevantes del análogo y del tópico.
- Comparación de las similitudes y diferencias entre el tópico y el análogo.
- Identificación de las limitaciones de la analogía.
- Obtención de conclusiones sobre el tópico.

González (2005) propone introducir en el modelo TWA una etapa inicial, el diseño del análogo. Según este autor, algunos de los aspectos que se deben considerar al diseñar el análogo son: su atractivo e idoneidad para la edad y conocimientos de los estudiantes, el análisis de las dificultades que presenta la comparación entre el análogo y el tópico, el momento de la explicación en que se presenta la analogía y el nivel de abstracción del análogo.

Las analogías, aunque son una poderosa herramienta de enseñanza-aprendizaje en ciencias, son también un arma de doble filo (Glynn, 2007). Si se usan correctamente se puede conseguir que los alumnos comprendan conceptos complejos; en cambio, si se usa incorrectamente puede ocasionar errores conceptuales en los alumnos. Orgill y Bodner (2004), a partir de un estudio de las ventajas y limitaciones mostradas en la literatura sobre la enseñanza con analogías, destacan como aspectos positivos su utilidad para que el estudiante:

- Comprenda la nueva información en términos de la que ya es conocida.
- Organice la información o la vea desde una nueva perspectiva.
- Visualice conceptos abstractos o fenómenos que no se pueden observar.
- Se sienta motivado en el proceso de aprendizaje.
- Reconozca y supere errores conceptuales
- Como efectos negativos del uso de analogías, estos autores señalan que:
 - Los estudiantes pueden interpretar la analogía mecánicamente, sin comprender la información que ésta pretende transmitir.
 - Los estudiantes pueden identificar la analogía con la realidad; no conocen lo suficientemente el tópico para comprender las limitaciones de la analogía.
 - Los estudiantes pueden interpretar la analogía de forma incorrecta dando lugar a errores conceptuales, difíciles de erradicar.

- Puede limitar la capacidad del estudiante para desarrollar una comprensión profunda del concepto objeto de estudio.

En la enseñanza con analogías, los profesores suelen recurrir a una metodología de tipo expositivo (Oliva, 2003) en la que el protagonista es el profesor mientras que el alumno es un mero receptor. Oliva (2006) señala que la construcción de significados en el alumno utilizando analogías, depende de cómo se utilicen éstas en el aula. Según este autor, si la analogía se presenta de forma expositiva, sin participación activa del alumno, no contribuirá a un aprendizaje significativo ni promoverá el aprendizaje de procedimientos y actitudes científicas. En su lugar, propone que el alumno intervenga en el desarrollo y construcción de la analogía a través de discusiones entre los propios alumnos, y entre éstos y el profesor; éste deberá actuar en todo momento como guía del proceso.

3. EXPERIENCIA EN EL AULA

La propuesta educativa para la enseñanza de la electroquímica, que se describe a continuación, fue puesta en práctica por la primera firmante de este trabajo durante su período de prácticas externas del Master en Profesor de Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas. La unidad didáctica dedicada a la Electroquímica forma parte del currículo de la asignatura Química II de 2º curso de la modalidad de bachillerato de Ciencias. La experiencia se llevó a cabo en un centro privado concertado de Valladolid con un grupo de 36 alumnos de 2º Bachillerato.

Una de las razones por las que los alumnos no muestran interés por la química en general, y la electroquímica en particular, es que la perciben como una materia ajena a la vida cotidiana. Para cambiar esta concepción errónea de la química y despertar su interés, como introducción al tema se muestran diapositivas que ilustran procesos importantes en la vida diaria que involucran reacciones de oxidación-reducción, conocidas como reacciones redox. Algunos ejemplos son la respiración, la combustión, la fotosíntesis, y la corrosión del hierro.

Con el fin de comprobar si comprenden el significado de conceptos claves en electroquímica, ya tratados previamente en este curso o en cursos anteriores, los alumnos realizan un cuestionario antes de iniciar el tema. El cuestionario incluye preguntas referentes a la carga iónica, la electronegatividad, el número o estado de oxidación, su variación y cálculo, la espontaneidad de reacciones y la diferencia de potencial eléctrico. Asimismo, se incluyen algunas preguntas acerca de las pilas y su funcionamiento. Las respuestas de los alumnos permiten detectar posibles errores conceptuales. Algunas de éstos fueron:

- ✓ *“La electronegatividad es la capacidad de un átomo para ceder electrones”*
- ✓ *“El número de oxidación es la valencia compuesta, se calcula multiplicando por 2 la que está con el oxígeno y dividiendo lo que te da por lo que está con el compuesto”*

- ✓ “La diferencia de potencial es la diferencia de iones y cationes”
- ✓ “la diferencia de potencial es la diferencia de energía entre reactivos y productos”

La parte del cuestionario relativa a pilas fue contestada por muy pocos alumnos; los que lo hicieron tan sólo señalaron que *las pilas tienen dos polos, uno positivo y otro negativo*. Este resultado es lógico, ya que esta materia se trata por primera vez en esta unidad didáctica; el único propósito de las preguntas fue conocer qué ideas tienen los alumnos sobre un objeto tan cotidiano como una pila.

En el desarrollo de la unidad didáctica, junto con las explicaciones teóricas se utilizaron diferentes estrategias de enseñanza-aprendizaje. Entre éstas últimas, el planteamiento y resolución de problemas, y las experiencias de laboratorio, que son imprescindibles en una asignatura de Química. Sin embargo, la utilización de analogías de forma que ayuden al alumno a construir su conocimiento es poco frecuente en las aulas. Por esta razón, en este trabajo, nos centraremos en las analogías que se emplearon y cómo se llevó a cabo su desarrollo en el aula.

Los contenidos de la unidad para cuyo aprendizaje se propone el uso de analogías se eligieron siguiendo el criterio de que resulten difíciles a los alumnos por su nivel de abstracción y sean susceptibles de ser explicados con las mismas. En la planificación y desarrollo de las analogías se siguieron las pautas señaladas en la sección anterior. En este artículo, por limitaciones de espacio, nos limitaremos a los aspectos más significativos del uso de esta estrategia. En la Tabla 1 se presentan los contenidos y los objetivos curriculares que se pretenden conseguir con el uso de analogías.

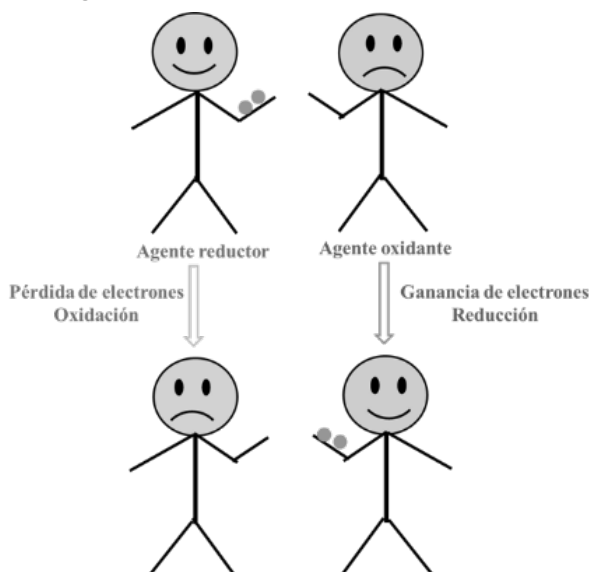
Tabla 1. Contenidos y objetivos curriculares

Contenido	Objetivo
Reacciones redox	- Identificar las reacciones redox - Comprender que los procesos redox implican la transferencia de electrones
Reducción, oxidación, agente oxidante y agente reductor.	- Conocer el significado de los conceptos sustancia oxidante y reductora y saber interpretarlos en términos de ganancia y pérdida de electrones. - Comprender que la oxidación y reducción son procesos simultáneos.
Par redox	- Asociar la variación del número de oxidación con las sustancias que se oxidan o se reducen en una reacción redox.
Pila electroquímica	- Conocer los componentes y el funcionamiento a nivel microscópico de una pila. - Identificar los procesos que tienen lugar en los electrodos.
Electrodo de referencia	- Reconocer la importancia de elegir un electrodo de referencia para la tabulación de potenciales de electrodo.
Espontaneidad de las reacciones redox	- Utilizar tablas de potenciales de reducción estándar para evaluar la espontaneidad de las reacciones redox.

3.1 Analogías para reacciones redox, oxidación, reducción, oxidante, reductor, par redox

Las reacciones redox presentan algunas analogías conceptuales con las reacciones ácido-base, contenido impartido en la unidad didáctica anterior en el currículo de Química II, por lo que se comparan ambos tipos de reacciones. Para ello, se formulan las siguientes preguntas a los alumnos: ¿qué le sucede a un ácido cuando se transforma en una base?, ¿y a una base cuando se transforma en ácido?, ¿qué partículas se intercambian? De esta forma se guía la actividad hacia la respuesta deseada, las reacciones ácido-base implican la transferencia de partículas cargadas, protones. En este momento, se presentan las reacciones que se estudian en esta unidad, reacciones de oxidación-reducción, en las que se produce también una transferencia de partículas con carga, pero, en lugar de protones, se transfieren electrones.

Figura 1. Ilustración de las reacciones redox



Los conceptos oxidación y reducción, agente oxidante y agente reductor son claves para comprender los cambios que experimentan las sustancias debido a la pérdida o ganancia de electrones. Los alumnos de hoy en día, que han crecido en un mundo visual, comprenden mejor los conceptos básicos si se les presentan mediante imágenes. Por tanto, a partir de una ilustración (Figura 1) tomada de Wu y Foos (2010), se plantea y desarrolla la analogía. La ilustración representa la naturaleza de las reacciones redox, en las cuales los electrones son donados desde el agente reductor al agente oxidante.

En la analogía, los electrones están representados por dos bolas rojas en las manos de los muñecos. Una vez mostrada la ilustración, se plantean las siguientes preguntas: ¿qué tienen los muñecos en sus manos?, ¿por qué sonríen o están tristes?, ¿qué le ocurre al muñeco que tiene las bolas?, ¿y al que no las tiene? A continuación, se les muestra la parte izquierda de la Tabla 2, en la que se establece la relación entre los análogos y los tópicos, y se les pide que rellenen la parte derecha de la tabla.

Tabla 2. Relación análogo-tópico

Análogo	Tópico
Muñecos de diferentes colores	Reactivos (átomos, moléculas o iones) implicados en la reacción redox
Bolas rojas	Electrones
Intercambio de bolas	Reacción de transferencia de electrones (reacción redox)
Muñeco que pierde las bolas	Agente reductor
Muñeco que gana las bolas	Agente oxidante
Pérdida de las bolas	Reacción de oxidación
Ganancia de las bolas	Reacción de reducción

Con esta analogía, el alumno recordará más fácilmente los conceptos básicos de electroquímica. Además, puede comprender que la oxidación y la reducción no se producen por separado, sino que ocurren simultáneamente, es decir, siempre que una especie se oxida, otra especie debe ser reducida. Este hecho es fundamental para entender las reacciones redox. En el desarrollo de la actividad, se procuró que ningún alumno creyera que los electrones son como bolas; se recordó que son partículas microscópicas y además tienen carga. Cabe resaltar, que con el uso de esta analogía se consiguió que los alumnos fueran más participativos y prestaran más atención en clase. Una muestra de cómo el uso de analogías incita a los alumnos a la reflexión son algunas de las preguntas que hicieron: *¿el que gana electrones se reduce?, ¿cómo puede ser eso?* durante el desarrollo de la misma. Los alumnos tienen tendencia a atribuir el significado de conceptos cotidianos a conceptos científicos. Así, por su experiencia diaria, asocian la palabra “reducir” a “disminuir” y no entienden como una reducción puede significar ganancia de algo. A su pregunta se les responde con otra ¿qué propiedad nos permite conocer los elementos que se oxidan y se reducen? De esta forma, ellos mismos ven que, en el caso de las reacciones redox, reducción significa disminución del estado o número de oxidación.

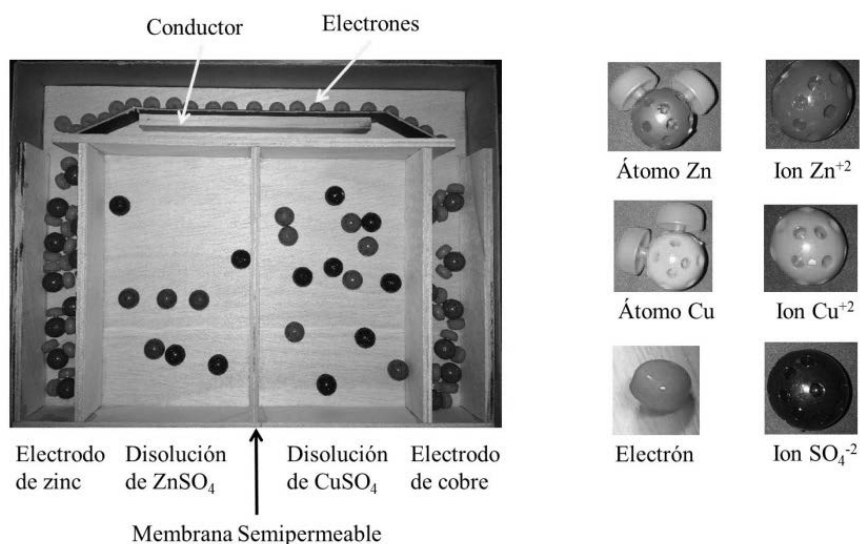
3.2 Modelo analógico para una pila electroquímica

Las pilas son dispositivos usados frecuentemente por los alumnos para hacer funcionar aparatos de la vida cotidiana; sin embargo no conocen su funcionamiento, como se demuestra en el cuestionario que realizaron antes de iniciar esta unidad didáctica. Para explicar el funcionamiento de una pila electroquímica

ca a nivel microscópico se utilizó el modelo analógico propuesto por Huddle, White y Rogers (2000) adaptado al material disponible. Cabe señalar que este modelo es muy simple y fácil de construir. El modelo simula una pila en la que, para mantener la neutralidad eléctrica en las dos semiceldas, se utiliza una membrana semipermeable en lugar de un puente salino. El funcionamiento de este último es más complejo para los alumnos dado que contiene iones diferentes a los que están presentes en los electrolitos.

El modelo consta de dos compartimentos unidos que representan las dos semiceldas de la pila. Se utilizaron bolas de plástico de diferentes colores para representar los átomos e iones y chinchetas de plástico para representar los electrones. Aunque en la pila real cada electrodo está en contacto con la disolución electrolítica, en el modelo se separaron mediante tablas de madera; de esta forma los alumnos pueden visualizar mejor la representación de los electrodos y su funcionamiento. Para representar la membrana semipermeable se utilizó una tabla con dos agujeros de forma que permite el paso de las bolas a través de ella. Una especie de pasillo conecta la parte superior de los compartimentos de los electrodos, permitiendo el paso de las chinchetas de plástico; de esta forma se simula el flujo de electrones de un electrodo al otro a través de un conductor externo. En la Figura 2 se muestran el modelo y sus componentes.

Figura 2. Modelo analógico para la pila electroquímica y sus componentes

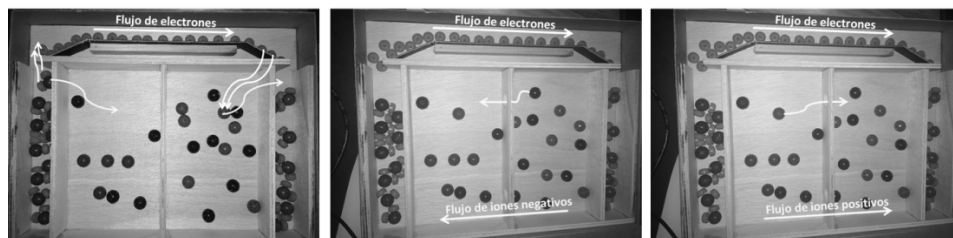


En la Figura 2 también se muestra la disposición de las partículas en el modelo utilizado en el aula: átomos de zinc en el ánodo, 4 cationes zinc y 4 aniones sulfato en el compartimento de la izquierda, átomos de cobre en el cátodo.

todo, 7 cationes cobre y 7 iones sulfato en el compartimento de la derecha. Una de las limitaciones de esta analogía es que no se representan las moléculas de agua, para no complicar el modelo.

Para desarrollar la analogía en el aula, se hace una demostración del funcionamiento del modelo ante todos los alumnos. Simultáneamente se proyecta un esquema de una pila electroquímica con el fin de que puedan establecer la relación entre esta última y el modelo. En primer lugar se identifican sus componentes. A continuación, se toma una bola azul con dos chinchetas (átomo de zinc) del electrodo de zinc, se quitan las chinchetas (los dos electrones de valencia) y se sitúan en el pasillo superior (conductor metálico). La bola azul sin las dos chinchetas (catión zinc) pasa al compartimento de la izquierda (disolución). Después, se cogen dos chinchetas (electrones) del pasillo superior, se llevan al electrodo de cobre y se insertan en una bola verde (catión cobre) tomada de la disolución del compartimento de la derecha. Seguidamente, la bola verde con las dos chinchetas (átomo de cobre) se sitúa en el compartimento del electrodo de cobre.

En este punto de la experiencia, se presta especial atención a que los alumnos comprendan que inicialmente las disoluciones eran neutras, pero ahora tenemos en la disolución de la izquierda más iones positivos que negativos y en la disolución de la derecha más iones negativos que positivos. Para que las disoluciones se mantengan neutras un ion negativo debería atravesar la membrana semipermeable de derecha a izquierda o bien un ion positivo debería cruzarla en la dirección contraria. Cualquiera de los dos procesos reestablecería la neutralidad eléctrica. De esta forma el alumno puede entender el papel desempeñado por la membrana semipermeable. Así pues, la última etapa del modelo consiste en pasar a través de la tabla con dos agujeros (membrana semipermeable) una bolita negra (ion sulfato) desde el compartimento de la derecha al de la izquierda, o bien una bolita azul (ion zinc) desde el compartimento de la izquierda. Con el modelo los alumnos pueden ver que los electrones circulan por el circuito externo de la pila desde el ánodo al cátodo, mientras que los iones se mueven desde un compartimento al otro de la pila. Así se corrige una idea equivocada que tienen algunos alumnos, la creencia de que la corriente eléctrica se debe al movimiento de cargas negativas y, por tanto solo los electrones o solo los iones negativos pueden completar el circuito. En la Figura 3 se representa el funcionamiento del modelo analógico de una pila electroquímica; las flechas blancas corresponden al movimiento de electrones y las flechas amarillas al de iones.

Figura 3. Funcionamiento del modelo de la pila electroquímica

Una vez finalizada la demostración, la clase se dividió en seis grupos de seis alumnos cada uno. Sólo se pudieron construir dos modelos, por lo que fueron dos los grupos que trabajaron simultáneamente. Cada grupo de alumnos dispone de 5 a 6 minutos para practicar con el modelo. Se estuvo en todo momento junto a los grupos para orientarles en la resolución de las cuestiones que se plantearon durante la experiencia: *¿cuándo se acaban los átomos de zinc deja de funcionar la pila?*, *¿por eso se acaban las pilas?*, *¿por qué hay que garantizar la neutralidad?*, *¿qué más da?*, *¿qué hacemos si no nos caben más bolas en el cátodo?*

Cuando todos los grupos han practicado con el modelo se realiza una puesta en común para la búsqueda de las semejanzas y diferencias entre análogo y tópico, recalcar las limitaciones que tiene el modelo y obtener conclusiones. Esta actividad fue guiada en todo momento mediante preguntas dirigidas hacia la consecución de los objetivos propuestos:

- ¿Creéis que en el funcionamiento de la pila real las etapas suceden una tras otra como hemos hecho en el modelo o se producen de forma simultánea? En este punto se refuerza el esquema mental que el alumno se ha hecho del funcionamiento de la pila con una animación³ donde se muestra un ejemplo de pila con membrana semipermeable.
- Los átomos e iones ¿tienen color?, ¿podemos verlos?, ¿la relación en tamaño de las bolas y chinchetas corresponde a la de átomos y electrones?
- ¿Por dónde se mueven los electrones?, ¿y los cationes?, ¿y los aniones? En las semiceldas de una pila tenemos disoluciones electrolíticas, ¿qué partículas debemos añadir en el modelo para representar las disoluciones?
- ¿Por qué aumenta de tamaño el cátodo?, ¿sucede lo mismo con el ánodo?
- ¿Qué función desempeña la membrana semipermeable? Si se separan las dos celdas ¿puede fluir la corriente eléctrica?, ¿por qué?
- ¿Por qué dejan de funcionar las pilas?
- Cuando distintos iones se mezclan distintos iones, pueden afectar al voltaje de la pila. Para evitar que las soluciones se mezclen, se utiliza un puente salino. ¿qué es un puente salino?, ¿cuáles son sus funciones? Pa-

³ <http://fyqjosevicente.blogspot.com.es/2011/03/varias-simulaciones-de-la-pila-daniell.html>

ra resaltar este punto se pone una simulación⁴ de una pila con puente salino. Se les proporciona también otro enlace⁵ donde pueden apreciar en detalle lo que ocurre en el puente salino y los electrodos

- ¿Qué sucedería en la pila si la membrana o el puente salino no funcionaran?
- ¿Cuál es la reacción que se produce en la pila?

Todas las actividades correspondientes al modelo de la pila se desarrollaron en una sesión de 50 minutos de clase. Posteriormente, los alumnos responden a un cuestionario que permite evaluar los conocimientos adquiridos sobre la pila así como la eficiencia del modelo. Los resultados, en general, son bastante satisfactorios, teniendo en cuenta que este tema les resulta particularmente difícil a los alumnos de bachillerato e incluso a los universitarios. De sus respuestas se deduce que el 83% aprendieron a identificar los elementos de la pila, a dibujar el movimiento de los electrones y los iones, que los electrones se mueven por el circuito externo, a escribir las semirreacciones que se producen en cada electrodo y a designar el nombre del electrodo según el tipo de semirreacción que ocurre en él. El 100% de los alumnos reconocieron que una de las funciones del puente salino es mantener la neutralidad eléctrica de las disoluciones pero sólo el 61% reconoció que también es necesario para completar el circuito eléctrico.

3.3 Analogía para el electrodo de referencia y espontaneidad de reacciones redox

Tras la experiencia con el modelo, el alumno puede ver que, combinando de diferente manera distintos electrodos, puede obtenerse miles de posibles pilas galvánicas. Sin embargo, no es necesario determinar la diferencia de potencial de todas las pilas, sino simplemente el potencial de los electrodos que pueden combinarse para formar esas pilas. En este punto se plantea a los alumnos la conveniencia de disponer de una tabla con potenciales de electrodos y el problema de que sólo podemos medir la diferencia de potencial de la pila, no la contribución de un solo electrodo. La solución está en elegir un electrodo como referencia y asignarle un potencial cero.

Con el fin de que los alumnos comprendieran la necesidad de elegir un electrodo de referencia para construir la tabla de potenciales de reducción, se utilizó como analogía la altitud de las ciudades. Ellos saben que esta altitud es relativa, es decir, que se refiere a un cero elegido de forma arbitraria, que corresponde al nivel del mar. Para que el aprendizaje sea significativo se les formula una serie de preguntas: ¿cómo se elige el cero en la escala de altitudes de ciudades?, ¿los valores de las altitudes serían los mismos si se elige como cero

⁴ http://www.fisica-quimica-secundaria-bachillerato.es/animaciones-flashinteractivas/quimica/pila_daniell.htm.

⁵ <http://www.mhhe.com/physsci/chemistry/essentialchemistry/flash/galvan5.swf>

la cima del monte Everest?, ¿la diferencia de altitud entre ciudades cambiaría en esta nueva escala? A partir de la analogía, los alumnos infieren que lo mismo ocurre con los potenciales de reducción de los electrodos que conforman una pila, no importa su valor absoluto (ni el cero escogido) sino la diferencia entre ambos, que es lo que va a determinar el potencial de la pila.

En la literatura se encuentran tanto tablas de potenciales de reducción como tablas de potenciales de oxidación para el electrodo. Siguiendo la recomendación de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), aceptada universalmente, en la clase se utilizó una tabla de potenciales estándar de reducción. Esta serie ordenada de potenciales, denominada serie electroquímica, es de gran utilidad en electroquímica por la gran cantidad de información que proporciona. Precisamente, uno de los objetivos de la unidad es que el alumno sea capaz de utilizar la serie electroquímica para determinar la fuerza electromotriz estándar de una pila, las fuerzas relativas de agentes oxidantes y reductores y para predecir el sentido espontáneo de una reacción redox.

Un aspecto fundamental en electroquímica es predecir, sin tener que realizarla en el laboratorio, si una reacción redox se va a producir de forma espontánea o no. Esto tiene, además, una importante aplicación práctica, ya que si la reacción es espontánea se puede usar para generar electricidad. Los alumnos han estudiado previamente la espontaneidad de las reacciones químicas a través de la energía de Gibbs de reacción en la unidad didáctica “Transformaciones energéticas en las reacciones químicas. Espontaneidad de las reacciones químicas” en este curso. Sin embargo, en la unidad correspondiente a la electroquímica no se entra en consideraciones de la variación de la energía de Gibbs de una reacción de oxidación-reducción, sino que simplemente se establece como criterio de espontaneidad para este tipo de reacciones que la fuerza electromotriz estándar de la pila sea positiva.

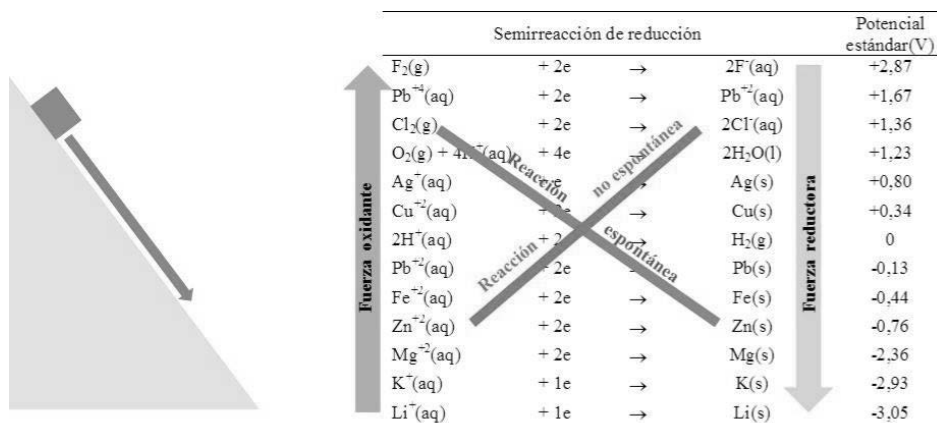
En este contexto, la tabla de potenciales estándar de reducción es de gran utilidad para predecir la espontaneidad de una reacción redox. Con el objetivo de que el alumno sea capaz de utilizar la serie electroquímica con esta finalidad, se compara el comportamiento de un objeto sobre un plano inclinado con el de los agentes oxidantes y reductores en una reacción redox. En este nivel educativo, los alumnos conocen los principios que rigen el comportamiento de un objeto sobre un plano inclinado.

Para introducir la analogía se mostró a los alumnos un dibujo de un objeto sobre la parte superior de un plano inclinado y se formularon las siguientes preguntas: ¿cuál es la dirección espontánea del movimiento del objeto sobre el plano?, ¿por qué? A continuación, se establece la analogía entre el objeto que se desplaza espontáneamente desde un punto de mayor energía potencial (parte superior del plano) a otro de menor energía (parte inferior del plano) y la reacción redox espontánea que se produce cuando reaccionan una especie de la izquierda (oxidante) de la tabla con

mayor potencial y una especie de la derecha (reductor), con menor potencial. El alumno comprueba que la fuerza electromotriz, (diferencia entre los dos potenciales) es positiva al igual que la diferencia de energías entre la posición inicial y final del objeto. Así, pues, la línea que une ambas especies en la serie electroquímica, semejante a la línea que determina el plano inclinado, indica la dirección de la reacción redox espontánea. La analogía puede apreciarse más claramente en la Figura 4, donde se representa un plano inclinado y una tabla abreviada de potenciales estándar de reducción.

Esta analogía, aunque es de gran ayuda para predecir la espontaneidad de las reacciones redox, debe usarse con precaución, ya que dependiendo de las fuentes usadas, las tablas de potenciales de electrodo pueden tener en la parte superior los valores más positivos, como la utilizada en este trabajo, o bien los más negativos. Con el fin de conocer si los alumnos han comprendido la información que proporcionan las tablas de potenciales estándar y si son capaces de utilizarlas correctamente, se presenta una tabla en la que los potenciales de electrodo están ordenados en orden inverso al de la Figura 4 y se les pide que representen el sentido espontáneo de diferentes reacciones redox. La analogía del plano inclinado sigue siendo útil pues les permitirá recordar que al utilizar la tabla tienen que unir el oxidante con mayor potencial (análogo a la posición del objeto con mayor energía potencial) con el reductor de menor potencial (análogo a la posición de menor energía potencial) para predecir si la reacción será espontánea. Es importante que los alumnos utilicen las tablas de una forma reflexiva y no memorística.

Figura 4. Analogía entre el plano inclinado y la espontaneidad de reacciones redox.



3. 4 Encuesta sobre el uso de analogías

Una vez finalizado el tema se propuso a los alumnos cumplimentar, de forma voluntaria, una encuesta sobre su opinión del uso de analogías en la clase. El 81% (29 alumnos) realizó la encuesta que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Encuesta de opinión de los alumnos sobre el uso de analogías

	Muy mala	Mala	Satisfactoria	Buena	Muy buena
En general, mi valoración del uso de analogías es:					
	En desacuerdo		De acuerdo		No sabe/ No contesta
Las analogías me han ayudado a comprender algunos conceptos abstractos					
Las analogías han aumentado mi interés por la asignatura					
Las analogías hacen interesantes y atractivas las clases					
Las analogías me han confundido más o no me han ayudado a la hora de estudiar y comprender los conceptos clave.					
Propón alguna sugerencia para mejorar las analogías					

El 100% de los alumnos que realizaron la encuesta manifestó que su valoración del uso de analogías es buena o muy buena y mostró su acuerdo con que las analogías les ayudan a comprender algunos conceptos, aumentan su interés por la asignatura, les ayudan a estudiarla y son amenas. Por último, pocos alumnos contestaron a la pregunta en las que se les pedía que propusieran sugerencias para mejorar las analogías; los que lo hicieron proponían ampliar su uso a otras asignaturas y materias.

4. CONCLUSIONES

Los alumnos de bachillerato, en su mayoría, consideran la electroquímica como una materia difícil, aburrida y ajena a su vida cotidiana. A ello contribuye el que en la enseñanza de los contenidos electroquímicos, en este nivel educativo, se utiliza predominantemente el nivel simbólico, difícil de comprender, y una metodología eminentemente expositiva que no propicia la motivación de los alumnos. Uno de los requisitos para que el alumno aprenda es que esté motivado; es evidente que no prestará atención y se aburrirá si no entiende lo que se está tratando en la clase. En este trabajo, se ha planificado y puesto en práctica una propuesta educativa, en la que se recurre al uso de analogías para facilitar la comprensión de conceptos abstractos de la materia y así fomentar el interés de los alumnos por la misma.

La utilidad de las analogías como estrategia de enseñanza-aprendizaje depende del modo en que se usen en el aula. Para que sean eficaces, el alumno debe participar en su construcción. De esta manera, como se ha podido constatar en la experiencia expuesta, despiertan su curiosidad, le inducen a la reflexión y a formular hipótesis y mejoran su comprensión de los conceptos, contribuyendo así a su formación. Su papel como elemento motivador se evidencia, por ejemplo, en la analogía empleada para explicar las reacciones redox, en la que la presentación de una sencilla ilustración llama la atención de los alumnos y despierta su interés por aquello que se está explicando.

Con base a los resultados obtenidos, se puede afirmar que el trabajar con modelos analógicos que puedan manipular, ayuda a los alumnos a comprender las relaciones entre los tres niveles de representación: macroscópico, microscópico y simbólico, que se emplean en la enseñanza de la química. La existencia de estos tres niveles de representación es una de las razones de la dificultad que, para muchos alumnos, supone el aprendizaje de la química y para muchos profesores su enseñanza.

Los alumnos valoraron positivamente la utilización de analogías en la clase, se involucraron en su desarrollo y manifestaron que les ayudan a comprender conceptos difíciles, les motivan y aumentan su interés por la materia. Las opiniones de los alumnos hacen recomendable el uso de las analogías para la enseñanza y aprendizaje de la química. Sin embargo, deben ser acompañadas por otras actividades como las experiencias en el laboratorio dado el carácter experimental de la química.

A lo largo de la experiencia se pudo comprobar que la enseñanza con analogías es una tarea que exige un gran esfuerzo al profesor. Requiere mucho tiempo pensar o buscar en la literatura analogías adecuadas, reflexionar para estar seguros que se utilizan bien, planificarlas para su desarrollo en el aula, elaborar preguntas a través de las cuáles se oriente a los alumnos hacia los objetivos que se pretenden conseguir y, en algunos casos, construir modelos. No obstante, los resultados que se obtienen, la motivación y el interés que despiertan en los alumnos compensan con creces el esfuerzo que requiere su planificación.

Agradecimientos. Queremos agradecer a la dirección del Centro Grial y al profesor Francisco Javier Díaz Tabernero el que hicieran posible llevar a cabo el presente trabajo, brindando todo tipo de facilidades y depositando su plena confianza en la experiencia.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLSOP, R. T.; GEORGE, N. H. (1982). Redox in Nuffield advanced chemistry. *Education in Chemistry*. Vol. 19, 57–59.
- BROWN, D.E. (1994). Facilitating conceptual change using analogies and explanatory models. *International Journal of Science Education*, Vol. 16, nº 2, 201-214.
- DRIVER, R., ASOKO, H., LEACH, J., MORTIMER, E., y SCOTT, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, Vol. 23, nº 7, 5–12.
- FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, J., GONZÁLEZ GONZÁLEZ, B. M. y MORENO JIMÉNEZ, T. (2003). Las analogías como modelo y como recurso en la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, nº 35, 82-89.
- GABEL, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: a look to the future. *Journal of Chemical Education*, Vol. 76, nº 4, 548-554.
- GARNETT, P. J. y TREAGUST, D. F. (1992). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electrochemical (galvanic) and electrolytic cells. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 29, nº 10, 1079–1099.
- GARNETT, P. J. y TREAGUST, D. F. (1992). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electric circuits and oxidation-reduction equations. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 29, nº 2, 121-142.
- GLYNN, S. M. y TAKAHASHI, T. (1998). Learning from analogy-enhanced science text. *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 35, nº 10, 1129–1149.
- GLYNN, S. M. (2007). Methods and strategies: The Teaching-with-Analogies Model. *Science and Children*, Vol. 44, nº 8, 52-55.
- GLYNN, S. M. (1991). Explaining Science Concepts: A Teaching with Analogies Model. En S. M. GLYNN, R. H. YEANY, y B. K. BRITTON (Eds.), *The psychology of learning science* (pp. 219-240). Hillsdale, N. J.: Laurence Erlbaum.
- GLYNN, S. M. (2008) Making science concepts meaningful to students: teaching with analogies. En S. Mikelskis-Seifert, U. Ringelband, M. Brückmann (Eds.), *Four Decades of Research in Science Education: from Curriculum Development to Quality Improvement* (pp 113-125). Alemania: Waxmann Verlag GmbH.
- GONZÁLEZ GONZÁLEZ, B. M. (2005). El modelo analógico como recurso didáctico en ciencias experimentales. *Revista Iberoamericana de Educación*, Vol. 37, nº 2, 1-15.
- GONZÁLEZ, B. M. (2003). “Las Analogías en el proceso Enseñanza-Aprendizaje de las Ciencias de la Naturaleza”. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, Vol. 17, nº 1, 195-208.
- HUDDLE, P A, WHITE, M. D. y ROGERS, F. (2000). Using a Teaching Model to Correct Known Misconceptions in Electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, Vol. 77, nº 1, 104-110.
- JOHNSTONE, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer-Assisted Learning*, Vol. 7, nº 2, 75-83.

- OGUDE, A. N.; BRADLEY, J. D. (1994). Ionic Conduction and Electrical Neutrality in Operating Electrochemical Cells. *Journal of Chemical Education*, Vol. 71, nº 1, 29–34.
- OLIVA, J. M. (2003). Rutinas y guiones del profesorado de ciencias ante el uso de analogías como recurso en el aula. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* [revista electrónica] 2[1] Disponible en: <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.
- OLIVA, J. M. (2004). El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* [revista electrónica] 3[3] Disponible en: <http://www.saum.uvigo.es/reec/>.
- OLIVA, J. M. (2006). Actividades para la enseñanza/aprendizaje de la química a través de analogías. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* Vol. 3, nº 1, 104-114
- ORGILL, M. y BODNER, G. (2004). What research tells us about using analogies to teach chemistry. *Chemistry Education: Research and Practice*, Vol. 5, nº 1, 15-32.
- SANGER, M. J. y GREENBOWE, T. J. (1997). Students' Misconceptions in Electrochemistry: Current Flow in Electrolyte Solutions and the Salt Bridge. *Journal of Chemical Education*, Vol. 74, nº 7, 819-823.
- THIELE, R. B. y TREAGUST, D.F. (1995). Analogies in chemistry textbooks. *International Journal of Science Education*. Vol. 17, nº 6, 783–795.
- WU, C. y FOOS, J. (2010). Making Chemistry Fun to Learn. *Literacy Information and Computer Education Journal*, Vol. 1, nº 1, 3-7.