

Para profundizar

ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA Y PRINCIPIOS DEL APRENDIZAJE MULTIMEDIA¹

Andrés Raviolo

Profesorado en Química. Universidad Nacional de Río Negro. San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina.

E-mail: araviolo@unrn.edu.ar

Resumen. Este artículo trata acerca del rol esencial de las imágenes en el aprendizaje y en la enseñanza de la Química. Se presentan los fundamentos de la Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia, donde el término multimedia hace referencia a presentaciones o comunicaciones que incluyen palabras e imágenes orientadas a fomentar aprendizajes. Se describen 15 principios del aprendizaje multimedia que se desprenden de esta teoría, y se detallan sus aplicaciones para la enseñanza de la química. Estas consideraciones instan a reformular la planificación y acciones que los profesores llevamos adelante en la enseñanza.

Palabras clave: enseñanza de la química, imágenes, principios del aprendizaje multimedia.

Chemistry teaching and multimedia learning principles.

Abstract. This article deals with the essential role of images in the learning and teaching of Chemistry. The foundations of the Cognitive theory of multimedia learning are presented, the term multimedia referring to presentations or communications that include words and images oriented to promote learning. It describes 15 principles of multimedia learning that emerge from this theory, and explains its applications for the teaching of chemistry. These considerations promote the reformulation of the planning and actions that teachers carry out in teaching.

Keywords: teaching of chemistry, images, multimedia learning principles.

INTRODUCCIÓN

La química es una ciencia visual. Las imágenes juegan, cada vez más, un rol central en la construcción y divulgación del conocimiento científico. En palabras de Lemke (2002): "la ciencia no habla del mundo sólo con el lenguaje de las palabras; en muchos casos, sencillamente no puede hacerlo. El lenguaje natural de la ciencia es una combinación de palabras, diagramas, imágenes, gráficas, mapas, ecuaciones, tablas y otros formas de expresión visual y matemática".

¹ Una versión preliminar de este trabajo fue presentada como conferencia en la 18REQ 2018.

Los avances en las tecnologías de la comunicación y de la imagen hacen que podamos acceder a una gran cantidad y calidad de imágenes tanto estáticas como dinámicas. Ahora: ¿Incorporar imágenes a las palabras ayuda a las personas a aprender mejor? ¿Cómo se aprende química desde imágenes? ¿Qué hace que una imagen sea adecuada? ¿Cómo podemos realizar una enseñanza multimedia efectiva para lograr una mejor comprensión de conceptos químicos?

Para responder estas preguntas nos basaremos en de la Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia que tiene como principal mentor a Richard Mayer de la Universidad de California, Santa Bárbara. La premisa central de esta teoría es: "Se aprende más profundamente una información, un material, una lección, si es presentada con palabras e imágenes más que con palabras solas".

Como multimedia se hace referencia a presentaciones o comunicaciones que incluyen palabras e imágenes orientadas a fomentar aprendizajes. Se circunscribe a imágenes con fines educativos. Imágenes estáticas (como fotos y diagramas) o dinámicas (como animaciones y videos).

En su libro *Multimedia Learning* (2009), Mayer desarrolla de una manera amena y concisa esta teoría y, sobre una rigurosa evidencia empírica, formula 12 principios para apoyar el aprendizaje de material multimedia. Estos principios son especialmente aplicables cuando el material a ser comprendido es complejo y cuando el aprendiz no dispone, o tiene poco, conocimiento previo. Por ello la pertinencia de esta teoría para la química, porque es la situación que se presenta generalmente en su enseñanza.

Esta teoría se opone a la costumbre de asumir que el principal medio para transmitir información es la palabra (escrita o hablada). Insta a incluir imágenes en las presentaciones, a convertirlas en multimedia. Tres razones justifican esta premisa central:

- (1) Imágenes y palabras sobre un contenido no son equivalentes, no dan la misma información. No existe una medida de equivalencia del tipo "una imagen equivale a 1000 palabras", dado que no son redundantes, ni sustituibles. Más bien tienen una naturaleza complementaria, el significado de las palabras se modifica con las imágenes y las palabras dotan de sentido a las imágenes.
- (2) En nuestras mentes la información auditiva/verbal y la información visual/pictórica se retienen y procesan en canales diferentes. El hecho de procesar la información en más de un canal trae ventajas en capacidad, codificación y recuperación en nuestra memoria.
- (3) El esfuerzo cognitivo de integrar, en la memoria de trabajo,

palabra e imagen, representaciones verbales y pictóricas, y relacionarlas con el conocimiento previo, produce aprendizajes más profundos, que van más allá del recuerdo y permiten su aplicación o transferencia a otras situaciones o problemas.

La mente funciona con dos sistemas de procesamiento de la información, uno para material visual y otro para material verbal y dispone de tres tipos de memoria (sensorial, de trabajo y de largo plazo). La ventaja de procesar la información en dos canales no es algo netamente cuantitativo, sino más bien algo cualitativo, dado que no procesan el mismo material, la información verbal y pictórica no son redundantes. La comprensión profunda ocurre cuando el aprendiz puede construir conexiones significativas entre las representaciones verbales y pictóricas. Este modelo se esquematiza en la Figura 1:



Figura 1: Modelo cognitivo del aprendizaje multimedia (Mayer, 2009).

En una presentación de material multimedia, las palabras son escuchadas por los oídos o leídas por los ojos, las imágenes son vistas por los ojos. En la memoria sensorial se realiza la retención de imágenes y sonidos, atendiendo a la información relevante.

En la memoria de trabajo tiene lugar la actividad principal del aprendizaje, allí se lleva a cabo el procesamiento de la nueva información la cual se mantiene activa y temporariamente consciente (Figura 2). La memoria de trabajo, que permite tener la información que necesitamos mentalmente "a mano", tiene capacidad muy limitada y puede fácilmente sobrecargarse.

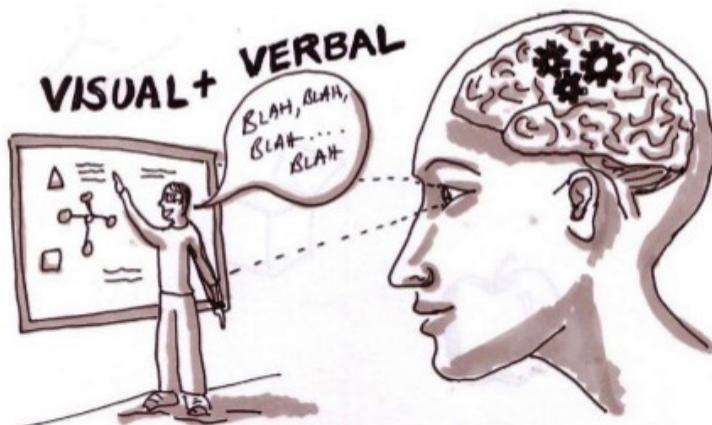


Figura 2: Integración activa de palabras e imágenes.

En la memoria de largo plazo se almacena la información proveniente de la memoria de trabajo. Esta memoria, que actúa como un depósito permanente de conocimientos, no tiene límites en su capacidad, ni en cantidad ni en tiempo. Para pensar sobre información almacenada en la memoria de largo plazo ésta debe ser traída a la memoria de trabajo.

En la memoria de trabajo las palabras escritas pueden convertirse en sonidos y las imágenes en palabra hablada. Allí se seleccionan sonidos e imágenes y se organiza la información seleccionada en representaciones mentales coherentes: modelo mental verbal y modelo mental pictórico. Se da sentido a la información integrando representaciones pictóricas con verbales y relacionándolas con el conocimiento previo. Para esta teoría, las personas no son receptores pasivos del contenido a aprender, por el contrario, se involucran activamente en procesar la información entrante con el objeto de construir modelos mentales de los conceptos nuevos.

Desde esta perspectiva, el conocimiento previo almacenado en la memoria de largo plazo se activa en el proceso de integración de las representaciones verbales y pictóricas. Esto da una nueva perspectiva para concebir y fomentar aprendizajes significativos. La falta de conocimiento previo sobre el tema puede implicar la falta de habilidad para identificar las estructuras relevantes en la visualización multimedia. Los aprendices con un alto nivel de conocimiento previo aportan a la memoria de trabajo información inclusiva que les permite integrar las representaciones. En cambio, los estudiantes con bajo nivel de conocimiento previo, pueden sobrecargar la memoria cuando enfrentan una tarea compleja que requiere relacionar representaciones múltiples.

Para que palabra e imagen se vinculen en un aprendizaje activo se tienen que poner en juego procesos cognitivos esenciales como: atender

o seleccionar el material relevante, organizar el material en representaciones coherentes, establecer conexiones entre las representaciones verbales y pictóricas e integrar el material al conocimiento existente. El aprendiz construye conocimiento en un proceso activo de aprendizaje, asentado en su esfuerzo de dar sentido a la información. Por su parte, el profesor apoya y/o fomenta esos procesos cognitivos relevantes, brinda las condiciones para un aprendizaje generativo orientado a construir relaciones mentales entre imágenes y palabras (Mayer, 2008).

La memoria de trabajo es limitada en número de informaciones y en tiempo que podemos retenerlas y manipularlas. No podemos operar con varias cosas a la vez, cosas que requieran nuestra participación activa, al menos que tengamos algunas automatizadas, agrupadas como una unidad de información. La percepción de que un material es complejo o no, estará dada, fundamentalmente, por el conocimiento previo, si es un novato o un especialista. Preparar una disolución, es una técnica, que involucra conceptos y procesos. Para un químico es una rutina, en cambio, para un novato no es una tarea sencilla, dado que el aprendizaje de esta técnica implica conocer también los conceptos involucrados (soluto, solvente, disolución, unidades de concentración, procedimientos de cálculo, materiales de laboratorio, instrumentos de medición). Para el novato esta actividad pone sobre su memoria de trabajo una cantidad de información que sobrepasa su capacidad, o exige que retenga la información por un tiempo excesivo. Como resultado, es muy probable que, inicialmente, presente dificultades en resolver problemas y desempeñarse en el laboratorio exitosamente.

No toda imagen es apropiada para fines educativos, las funciones comunicacionales de las imágenes se discuten en Clark y Lyons (2011) y los tipos de información que se extrae de una imagen se desarrollan en Raviolo (2018 a y b).

Las investigaciones en esta línea condujeron a la formulación de 12 principios del aprendizaje multimedia (Mayer, 2009), que para el caso del aprendizaje multimedia *e-learning* se complementaron con algunos otros principios más (Clark y Mayer, 2016). Cada uno de estos principios está fundamentado teóricamente y apoyado en una rigurosa evidencia experimental.

PRINCIPIOS DEL APRENDIZAJE MULTIMEDIA

Principio multimedia: Se aprende más profundamente una información si es presentada con palabras e imágenes más que con palabras solas. Cuando se presentan juntas palabras e imágenes el aprendiz tiene la oportunidad de construir modelos mentales verbales y pictóricos, y conexiones entre ellos. Cuando el material es presentado con palabras solas es menos probable que construya un modelo mental visual y que

haga conexiones con el modelo verbal. Esto es muy relevante en el caso de la química, donde generalmente el aprendiz tiene poco conocimiento del tema y, seguramente, necesitará ayuda para construir conexiones entre las representaciones verbales y pictóricas. Por ejemplo, sería muy difícil para un estudiante comprender el texto, sin la presencia de la imagen, de la Figura 3 proveniente del libro Química de Chang.

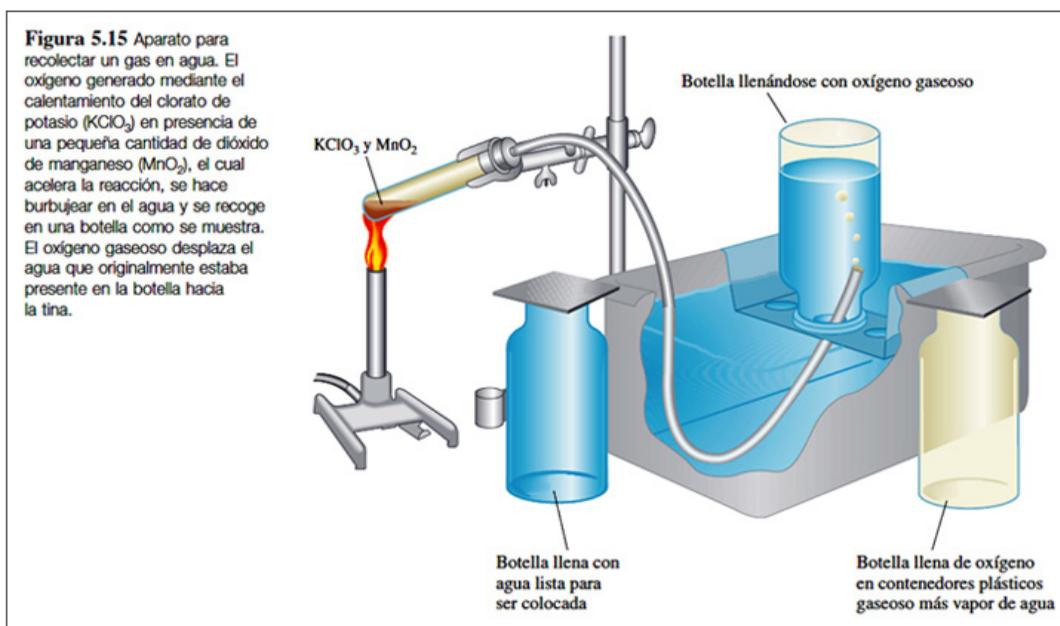


Figura 3: Complementariedad de imagen y palabra en una figura de libro de texto.

Los libros de texto de química a lo largo de los años evidencian un notable aumento en el número y calidad de las imágenes que han incorporado, con una mayor tendencia a cumplir funciones explicativas más que funciones decorativas (Raviolo, 2016). Entre estas imágenes se destacan los diagramas o dibujos esquemáticos (Raviolo, 2015), como los que aparecen en las figuras 3, 4 y 5.

Para el profesor, para un experto, escuchar las palabras "equipo o montaje de destilación" los remite a sus imágenes correspondientes, o cuando ven una imagen como la de la Figura 4 pueden ponerle palabras y explicarla. Con el novato no ocurre lo mismo. Un esquema de un montaje de laboratorio es percibido por un experto como una sola unidad de información; en cambio, un novato percibe muchas unidades de información, ve distintos materiales en forma independiente. Lo mismo le ocurriría a un profesor ante un montaje desconocido.

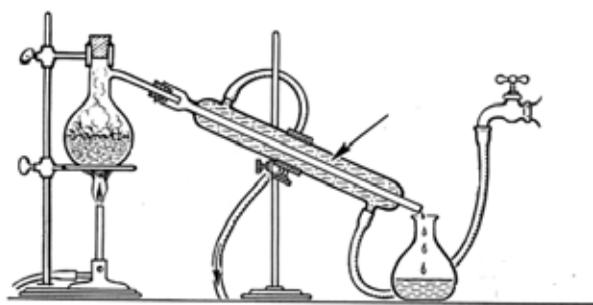


Figura 4: Imagen de un montaje de destilación.

Ante la presentación verbal de un contenido químico, puede pasar que el aprendiz no recurra a ninguna imagen, que procese solo información verbal y produzca un aprendizaje memorístico, con buenos resultados en pruebas de recuerdo, un conocimiento que olvidará pronto. O que asocie esas palabras a imágenes inadecuadas y genere concepciones alternativas. Las palabras "equilibrio químico dinámico" pueden ser asociadas a imágenes como una balanza de platillos en equilibrio. Cuando las palabras referidas al equilibrio químico son acompañadas solo de ecuaciones químicas con la doble fecha, los estudiantes pueden construir modelos mentales incorrectos, como los modelos del "equilibrio pendular", del "equilibrio estequiométrico", etc. (Raviolo, 2006). Si en la enseñanza no se presentan imágenes apropiadas del contenido es probable que el estudiante genere sus propias representaciones pictóricas, por ejemplo a través de metáforas o analogías, y dichas imágenes pueden no ser las más adecuadas para articular con las representaciones verbales y conduzca a un conocimiento incorrecto. Con la presentación, por parte del profesor, de imágenes apropiadas aumenta la probabilidad de que se generen aprendizajes más adecuados y profundos.

Principio de la modalidad: Es mejor que la imagen sea acompañada de palabra narrada más que de palabra escrita. De esta forma el canal visual de la memoria de trabajo se ocupa solo de procesar la imagen. Mejor una animación narrada que una animación en la cual se incluya texto con las mismas palabras que la narración. Este principio es especialmente útil cuando el material verbal no contiene muchos términos técnicos y cuando se presenta en segmentos de poca duración.

Este principio refirma la imprescindible función explicativa del profesor. Como profesores debemos cambiar nuestra forma de concebir a las imágenes en la enseñanza y empezar a trabajar sistemáticamente con ellas. Esto implica no leer ni hablar en "el aire", en abstracto, o a partir solo de ecuaciones y símbolos, sino, por el contrario, que las palabras hagan referencia a imágenes, imágenes del nivel macroscópico y submicroscópico. Y que estas imágenes sean explicadas oralmente, es decir, imágenes narradas.

Principio de contigüidad temporal: Este principio sostiene que para que la narración sea efectiva, palabras e imágenes deben presentarse simultáneamente, al mismo tiempo, en lugar de consecutivamente. De esta forma el canal visual de la memoria de trabajo no procesa imágenes y texto, dado que el canal auditivo procesa la narración. Con esto no es necesario mantener en la memoria de trabajo un tipo de representación mientras se logra el acceso al segundo tipo.

Cuando las palabras se presentan como texto compiten con la imagen por la atención, en el canal visual, con lo cual se divide la atención. Cuando el sujeto mantiene al mismo tiempo las representaciones verbales y las pictóricas en su memoria de trabajo es más probable que construya conexiones significativas entre ambas. Si la imagen tiene una complejidad espacial, puede requerir más tiempo al aprendiz entenderla, por ello este principio es más útil con estudiantes con habilidades espaciales altas.

Principio de contigüidad espacial: Sostiene que se aprende mejor la información cuando el texto, y su imagen correspondiente, están físicamente integrados en el texto o en la pantalla. Cuando preparamos un material escrito o una diapositiva, o seleccionamos un texto, se debe tener en cuenta este principio. La explicación de una figura debe estar cerca de la misma, los rótulos de cada parte cercanos a lo que nombra. Este principio es tenido en cuenta por los diseñadores de libros de texto, como se aprecia en la Figura 3. El hecho de, por ejemplo, ubicar las etiquetas o rótulos cerca de los objetos más que en una lista separada, evita realizar búsquedas y, por lo tanto, libera recursos cognitivos.

En el siguiente diagrama (Figura 5) se muestra en forma simplificada las principales partes y entidades de un sistema y las relaciones entre ellas, en este caso de un espectrómetro de masas. Se ha comprobado que se aprende mejor un contenido a partir de imágenes simplificadas más que de imágenes realistas con exceso de información y detalle (Raviolo, 2018b).

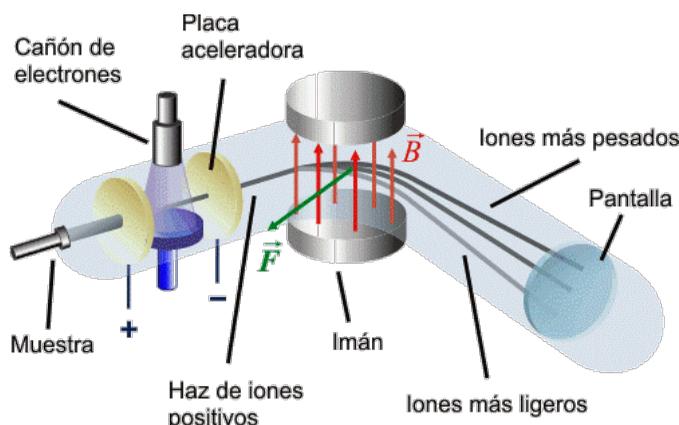


Figura 5: Diagrama de un espectrómetro de masas.

Principio de pre-entrenamiento: Este principio afirma que se aprende más profundamente un material multimedia cuando se conoce los nombres y características de los principales conceptos que aborda el material. De esta forma, durante la explicación multimedia, el aprendiz puede focalizar en las conexiones causales dado que ya conoce los nombres y características de los elementos claves. Este principio se aplica a estudiantes con poco o ningún conocimiento previo de la temática. Es esencial hacer conocer a los alumnos las partes y entidades que participan en el fenómeno químico tratado, para ello los docentes debemos presentar los sujetos o personajes de la historia química que abordamos.

Además del nombre, es importante incorporar la categoría a la cual pertenece, por ejemplo: catión sodio, anión cloruro, disolución de hidróxido de sodio, etc. Las categorías, resultado de una clasificación, son claves para definir el concepto; por ejemplo, átomos, iones y moléculas son partículas, disoluciones y sustancias son materia homogénea. Esto ayuda también a ordenar u organizar la información. Al ayudar al aprendiz a adquirir conocimiento previo se disminuye la demanda cognitiva para procesar la información nueva. La integración física de diagrama y texto, se puede lograr incluyendo texto, por ejemplo en etiquetas, junto en determinadas partes de la imagen. Esta última estrategia es eficiente con estudiantes de bajo conocimiento previo, cuando el material es complejo y cuando, si se trata de una animación, ésta se pasa rápidamente.

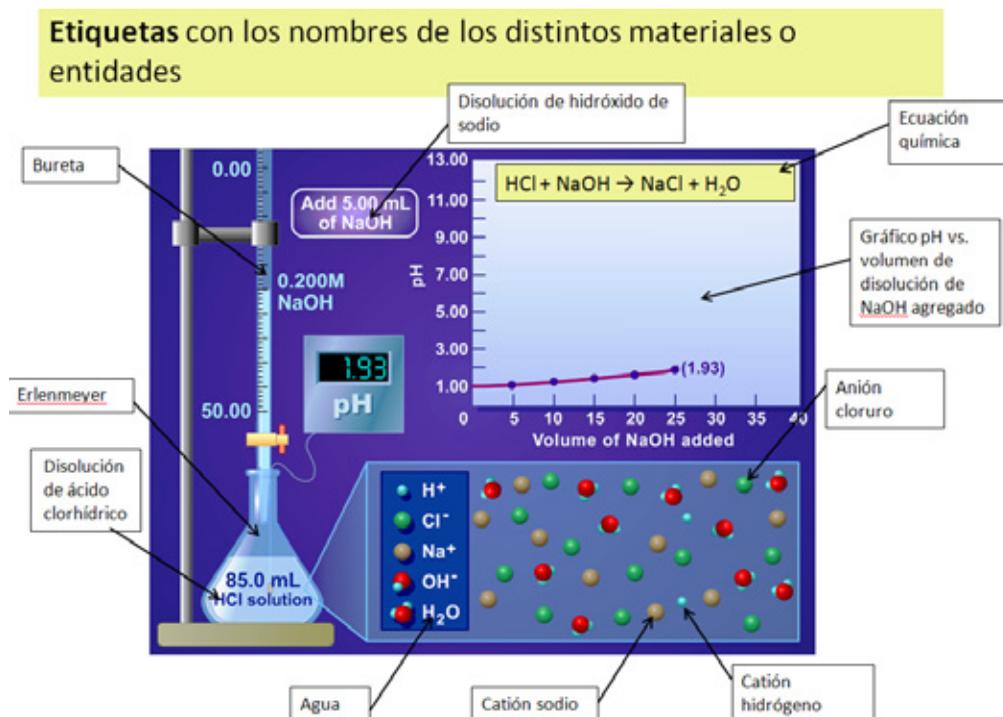


Figura 6: Ejemplo de captura de pantalla con etiquetas de sus componentes

La Figura 6 muestra una captura de pantalla de la animación titulación ácido fuerte con base fuerte, utilizada en estudio realizado por Raviolo y Farré (2017), en la cual se han agregado 10 etiquetas con el nombre de los principales elementos y/o entidades que se observan en ella. Se etiquetaron materiales de laboratorio, disoluciones y partículas como iones y moléculas. La posibilidad de contar con esta imagen, en concordancia con el principio de pre-entrenamiento, ayudó a los estudiantes en la escritura de un texto que describe lo que muestra esta animación y a contestar preguntas sobre ella. Esta estrategia tuvo un efecto positivo especialmente en estudiantes con bajos resultados en exámenes. A esta animación "Titulación ácido base" se puede acceder en la página web de Química de Chang, 11^o edición, capítulo 16.

El uso de esta imagen, cumple también el principio de contigüidad espacial, dado que las etiquetas son cuadros de texto que se encuentran cercanas (y unidas por una flecha) a los materiales y entidades que nombran. Esto aumenta las chances que el estudiante sea capaz de realizar las conexiones mentales entre palabras e imágenes. También, cumple el principio de la contigüidad temporal, dado que los estudiantes en todo momento tienen disponible esta imagen y la consultan frecuentemente cuando responden el cuestionario.

Principio de señalamiento: Afirma que un material se aprende mejor si se dan pistas que resalten la organización del material esencial. Cuando se brindan ayudas o señalamientos visuales con la finalidad de dirigir la atención del aprendiz a los aspectos claves o relevantes del material.

A través del énfasis vocal, de resaltar palabras en el texto o de subrayarlas, se orienta la mirada del aprendiz a los sitios o elementos claves de la narración o texto. También es importante expresar al inicio la idea central y la organización del material, mencionando los principales títulos y enumerando con indicadores de orden del tipo: primero, segundo, tercero. Pueden destacarse de un material visual las partes o entidades importantes a través de flechas o círculos, o iluminándolas en forma continua o intermitente.

Con este tipo de estrategias, que guían la atención del estudiante a la información relevante del material, se reduce la carga cognitiva externa de procesamiento. Este principio es especialmente útil cuando la lección multimedia está desorganizada y cuando el aprendiz tiene bajas habilidades de lectura.

En la Figura 7 se muestra una captura de pantalla de la animación sobre titulación de ácido fuerte con base fuerte, utilizada en el trabajo llevado a cabo por Raviolo y Farré (2017), en ella se han agregado 10 etiquetas que señalan los niveles de representación (macro, gráfico, simbólico y submicro) de los elementos o entidades que aparecen en ella. No todos

los estudiantes identifican estos distintos modos de organización, su conocimiento los ayudó a escribir un texto sobre lo que muestra la simulación de una forma ordenada, centrándose en lo que se muestra en cada nivel. La presentación de esta imagen, como una actividad previa de señalamiento, fue de utilidad especialmente para los estudiantes de bajo rendimiento en exámenes sobre estos temas.

El hecho de que esta animación muestre un fenómeno químico empleando cuatro niveles de representación demanda al alumno un gran esfuerzo de integración. Un objetivo esencial de la enseñanza de la química, al que apunta esta imagen dinámica, es que los estudiantes individualicen y comprendan un fenómeno químico en cada uno de estos modos de representación y luego los integren adecuadamente.

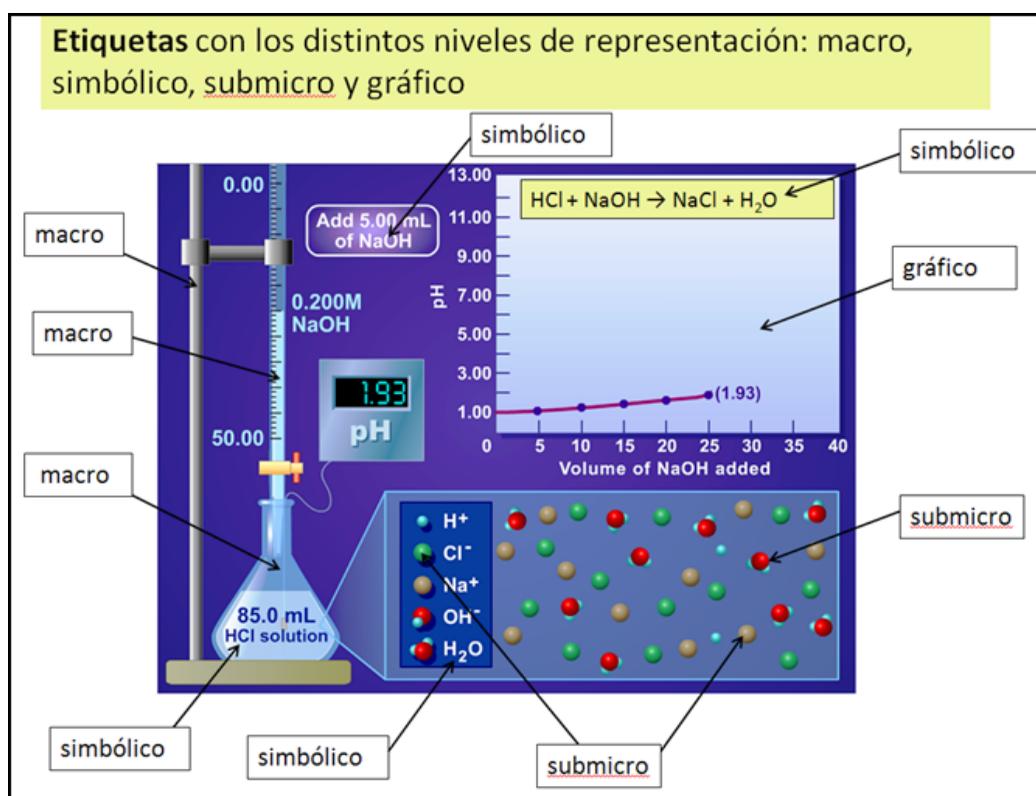


Figura 7: Ejemplo de captura de pantalla con etiquetas sobre su organización

Principio de redundancia: Asevera que las imágenes deben ser acompañadas con la narración hablada solamente, sin la presentación de lo que se narra en forma de texto escrito. Cuando no ocurre esto, el aprendiz trata de reconciliar ambas fuentes de información verbal, produciendo una distracción y sobrecarga de memoria. Esto es muy frecuente en

las presentaciones de diapositivas cuando se lee de la pantalla textos largos. En concreto, en las presentaciones con diapositivas tenemos que reemplazar los textos largos, por imágenes y explicarlas, o por esquemas que organicen o jerarquicen los conceptos.

Principio de la coherencia: Afirma que se aprende mejor una información cuando material extraño es excluido más que cuando es incluido. Es mejor excluir palabras e imágenes irrelevantes, por más que puedan ser interesantes. Prescindir también de sonidos y música, de palabras y símbolos innecesarios, de exceso de detalles. La interferencia de material extraño, o innecesario, puede desviar la atención de las ideas centrales y/o saturar la capacidad de procesamiento. Recordemos que esta teoría se refiere a imágenes con fines educativos y por lo tanto no da lo mismo cualquier imagen.

En la Figura 8, se aprecia una imagen, de la página web del texto de Bishop (2013) *An Introduction to Chemistry*, creada con el fin de mostrar la disociación total de un ácido fuerte, el ácido clorhídrico. En ella se aprecia que la imagen está muy saturada, con exceso de detalles. Por más que se señalen los aniones cloruro y los cationes hidrógeno con círculos (principio de señalamiento), es muy difícil distinguirlos entre las moléculas de agua.

The final solution contains H_3O^+ ions, Cl^- ions, and water molecules. The HCl molecules are not present. Because HCl produces hydronium ions, H_3O^+ , in solution, it is an acid, and because all of the HCl molecules form H_3O^+ ions, it is a strong acid. The solution of HCl is called hydrochloric acid.

Click Next to continue.

Restart

CPC
Chiral Publishing Company

Copyright Mark Bishop 2012

Figura 8: Imagen saturada de información

Principio de la segmentación: Este principio sostiene que se aprende mejor un material multimedia cuando es presentado en segmentos pausados por el usuario, que cuando se lo presenta en un continuo sin pausa. Esto le permite al aprendiz procesar completamente un paso antes

de pasar al siguiente, para ello resulta muy útil poder disponer del botón "continuar". Este principio es de utilidad para realizar una selección adecuada de imágenes estáticas, animaciones y simulaciones. Si la imagen es compleja, con mucha información, o es una imagen dinámica (ej. una simulación) de larga duración sin cortes, es necesario descomponerla en partes y explicar cada una de ellas.

Por ejemplo, en el diseño de la animación "celda galvánica" de Química de Chang (edición 11^ª), se tuvo en cuenta este principio, dado que la animación no se ejecuta en un continuo, sin pausa. La misma comienza presentando un esquema simplificado de la pila (Figura 9 izquierda), luego se agrega el puente salino con lo cual la pila se pone "en movimiento" (Figura 9 derecha) y da cuatro opciones para observar lo que ocurre en cada uno de los electrodos y en los dos extremos del puente salino. Esto permite al usuario focalizar la atención en distintos segmentos de la simulación. Se puede acceder a esta simulación en el "celda galvánica en: http://glencoe.mheducation.com/sites/0076656101/student_view0/chapter18/animations.html#

Este principio da respuesta a la pregunta: ¿se aprende mejor un proceso a partir de imágenes estáticas o de imágenes dinámicas? Las animaciones computacionales son un medio activo que muestra movimientos y cambios. Las animaciones pueden ser ricas en detalles e imponer una carga cognitiva externa que sobrecargue la memoria. Varios estudios mostraron que se aprende mejor un material con una serie de imágenes estáticas (con su texto escrito) que con una animación continua narrada del mismo material. Con las imágenes estáticas se da un procesamiento activo dado que el aprendiz tiene que mentalmente animar los cambios de una imagen a otra, y puede controlar el orden y tiempos de procesamiento, permitiendo que siempre pueda revisar la imagen anterior. Por el contrario, la imagen dinámica podría producir un aprendizaje pasivo, por no poder animar y controlar.

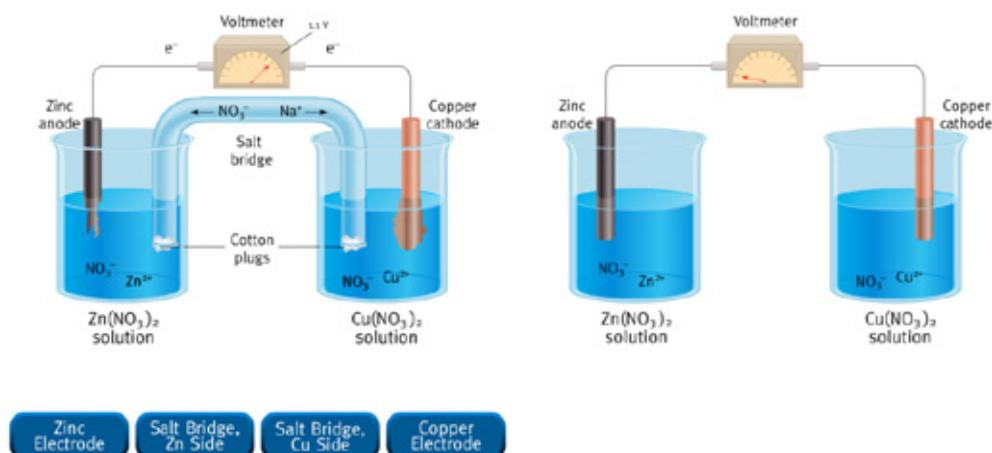


Figura 9: Capturas de pantalla de la animación celda galvánica

La animación titulación ácido- base, abordada anteriormente, también está segmentada dado no corre toda en una forma continua. El usuario interactúa con la simulación pulsando el botón "agregar 5 mL de NaOH".

Cuando un profesor proyecta una simulación puede pasarla inicialmente en forma completa y luego repetirla, total o en partes, cuantas veces lo solicitan los alumnos. Esto facilita que puedan focalizar en determinada parte (como en los distintos niveles de representación) o momento de la misma. La narración del profesor, dado que frecuentemente las animaciones están en otro idioma, pueden comenzar con una presentación global y luego por tramos.

Principio de la personalización: Afirma que se aprende mejor una información multimedia si se presenta las palabras con un estilo conversacional más que con un estilo formal. Un estilo no formal, personal más que impersonal, tanto en lo escrito como en lo hablado. En lugar de una voz pasiva recurrir a una voz activa en primera o segunda persona, con un tono amigable. Además, es importante emplear un lenguaje respetuoso, educado, cortés.

Esto pone en relieve que en el aprendizaje de un material multimedia influyen también los aspectos sociales de la comunicación. El aprendiz se involucra en un procesamiento cognitivo más profundo cuando activa el sentimiento de presencia social, cuando desarrolla un sentimiento social de conversación con el instructor. A través del empleo del yo, tu, nosotros, nuestro, vuestro, se crea una sensación de conversación entre el curso y el que aprende.

El desafío en este diálogo es no sobrepasarse con un lenguaje conversacional que distraiga al aprendiz de los objetivos pautados de aprendizaje. Por ejemplo, en un estudio sobre cómo los estudiantes aprendían a resolver problemas de estequiometría (McLaren, DeLeeuw y Mayer, 2011), a partir de una página web con un tutor que cumplía funciones de proveer ayudas y retroalimentación, se implementó un diseño con dos opciones de estilo de narración: (a) un lenguaje conversacional educado ("Ahora tenemos que calcular los resultados") versus (b) un lenguaje directo, sin rodeos ("El tutor quiere que usted calcule los resultados ahora"). Se halló que estudiantes con pocos conocimientos de química obtuvieron mejores resultados en la resolución de problemas con el estilo conversacional, en cambio, los estudiantes con mayor conocimiento mostraron una tendencia inversa.

Generalmente el aprendizaje de una información no se logra por el simple hecho de la transmisión formal de la misma, es necesario que la información esté acompañada de ayuda, de preparación que facilite el procesamiento cognitivo apropiado en el aprendiz.

Principio de la voz: Sostiene que se aprende mejor cuando la narra-

ción es con una voz humana más que con una voz proveniente de máquina. Con la voz humana se favorece el sentimiento de la presencia social, de la participación en una conversación con el instructor, con lo cual el aprendiz se involucra en un procesamiento cognitivo más profundo.

Principio de la imagen: Una persona no aprende más profundamente una presentación multimedia cuando la imagen del que habla aparece en la pantalla. La adición de la imagen estática del instructor puede causar que el aprendiz divida su atención, que atienda a la cara o cuerpo del presentador en lugar de prestar atención al contenido. Cuando la imagen del instructor no contiene información pedagógica relevante, solo transmite la información de forma narrada, puede no acarrear un beneficio de tipo social. Este principio está íntimamente relacionado con empleo de un agente pedagógico animado, que cumple la función de guiar la presentación del material, este principio se abordará a continuación.

En el libro *e-Learning and the Science of Instruction* (Clark y Mayer, 2016) se aplican estos 12 principios para el caso del aprendizaje multimedia *e-learning* y también se profundizan tres principios más. Se concibe al enfoque *e-learning* como la enseñanza presentada en dispositivos digitales, tales como una pantalla de computadora, laptop, tablet o celular, orientada a generar aprendizajes. Los cursos *e-learning* incluyen contenido (información) y métodos instruccionales (técnicas) que ayudan a aprender el contenido.

Principio de la personificación o del agente (embodiment principle): Se aprende mejor un material *e-learning* si aparece en pantalla un agente pedagógico animado, que emplea voz, gestos y movimientos humanos para introducir la lección, que genera contacto visual. Un agente pedagógico que da devoluciones y pistas, que personifica a un ser humano, que interactúa con el aprendiz, que crea la sensación de presencia social con el instructor. No se trata de la imagen estática del narrador (principio de la imagen) sino de un agente (dibujo o muñeco) que cumple la función de orientar la atención, de indicar los elementos relevantes, acorde con el principio de señalamiento. En concreto, es un agente que en la pantalla lleva adelante las tareas que realiza un profesor.

La personificación debe ser acotada para no desviar la atención del aprendiz y limitarse a cumplir la función de guiar el proceso de aprendizaje de la lección. El agente es un entrenador amigable en la pantalla, que provee consejos, claves, ejemplos resueltos, demostraciones y explicaciones, por ejemplo el muñeco, que emplea gestos y movimientos humanos, de la Figura 10. En esta imagen, y en concordancia con el principio de coherencia, la planta en la maceta no aporta a los objetivos educativos y actúa como un distractor.



Figura 10: Captura de pantalla con la aparición de un agente pedagógico

Principio de los ejemplos resueltos (worked example principle): Se aprende mejor un tema si se incorporan ejercicios resueltos, o demostraciones paso a paso de cómo resolver una tarea o problema. Con la presentación de estas demostraciones se ayuda a construir habilidades procedimentales.

Entre las imágenes que resultan útiles para este fin se destacan los esquemas algorítmicos. Por ejemplo, el siguiente esquema algorítmico (Figura 11) que orienta en la resolución de problemas de estequiometría (extraído de Química de Chang):

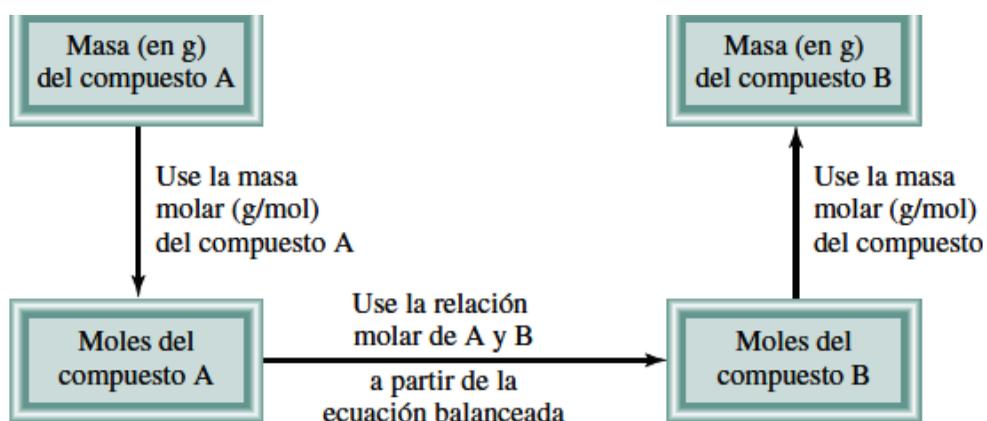


Figura 11: Ejemplo de esquema algorítmico de resolución de un problema.

También los esquemas algorítmicos que orientan la ejecución de una práctica de laboratorio (Figura 12). Por ejemplo, la separación de una mezcla de acetato de sodio, ácido benzoico y naftaleno (Prociencia, 1986):

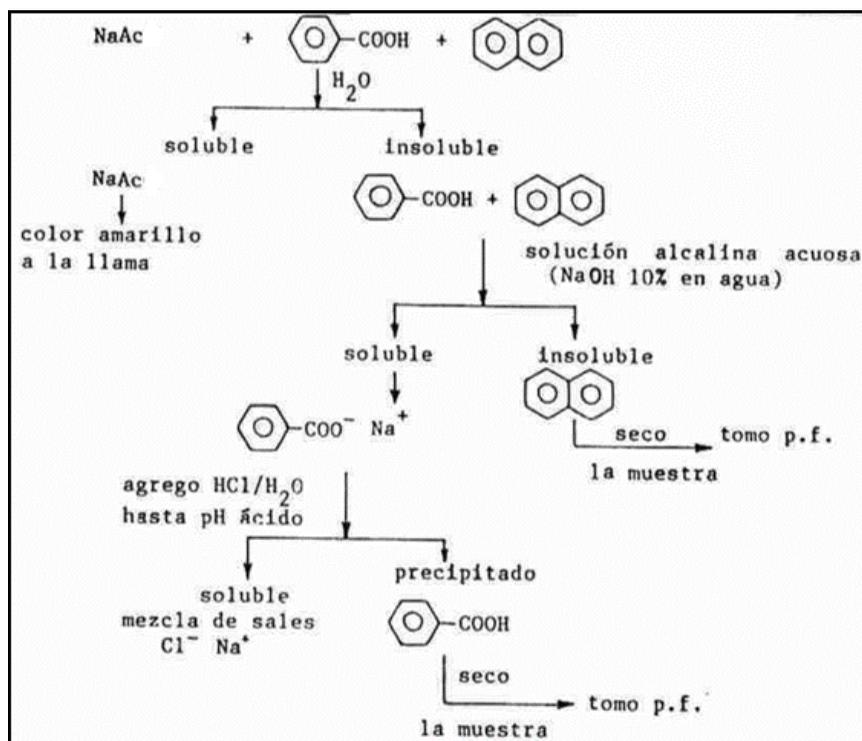


Figura 12: Ejemplo de esquema algorítmico de una actividad de laboratorio

En esta estrategia se incluyen los ejemplos modelados, donde una persona o agente demuestra un proceso; por ejemplo, un video tutorial donde un individuo explica un procedimiento químico paso por paso. En estos ejemplos tutorizados se aprende a través de la imitación de otros, se apropia o se adopta el saber hacer de otros. En química hay muchos ejemplos de videos de procedimientos o técnicas básicas de laboratorio, por ejemplo, los múltiples videos que pueden encontrarse en YouTube sobre preparación de disoluciones o titulaciones.

Iniciando un tema con ejemplos resueltos se logra reducir la carga cognitiva externa, dado que éstos facilitan la apropiación, consolidación y automatización de conocimientos y habilidades nuevas. En clases de química, se recomienda intercalar en la resolución de guías, de ejercicios y de laboratorio, explicaciones de esquemas algorítmicos e incluir sistemáticamente ejemplos resueltos, demostraciones y videos de procedimientos.

Principio del compromiso (engagement principle): El aprendiz debe involucrarse activamente en el proceso de aprendizaje elaborando el material con el fin de lograr un procesamiento generativo, de lograr darle sentido a la información relacionándola con el conocimiento previo, de alcanzar una elaboración del material que genere un conocimiento transferible.

El compromiso del aprendiz, que está en el centro de todo episodio

de aprendizaje exitoso, es la interacción psicológica significativa entre el aprendiz y el contexto de enseñanza que promueve el logro de los objetivos educativos. El aprendizaje es una actividad generativa, de construcción de relaciones entre en contenido nuevo y el conocimiento previo, y/o entre elementos del contenido de una lección. La tarea del profesor se orienta a generar la motivación y condiciones de trabajo que fomenten ese compromiso en el aprendiz.

CONCLUSIONES

A continuación se emiten algunas reflexiones finales que resumen lo desarrollado y las acciones a llevar adelante por un profesor. Dado que la capacidad cognoscitiva de la memoria de trabajo es limitada, los principios del aprendizaje multimedia ayudan a reducir la carga del procesamiento y facilitar el proceso de dar sentido a la información.

La enseñanza frecuente de la química se basa en palabras, símbolos y ecuaciones. Los estudiantes carecen, generalmente, de imágenes sobre el contenido químico que se enseña. No cuentan con imágenes de los sistemas físicos, imágenes macroscópicas o submicroscópicas. Es necesario que el profesor recurra sistemáticamente a imágenes desde el inicio y las acompañe con palabras, de modo de ayudar a los alumnos a organizar la información en representaciones verbales y pictóricas coherentes y a integrarlas entre sí, fomentando que la información tenga sentido, impulsando la vinculación con su conocimiento previo.

Las imágenes no se conciben como un acompañamiento superfluo del texto, como un adicional decorativo, sino como un complemento a las palabras, esencial para darles sentido, para crear significados. Palabra e imágenes tienen que ser pensadas y planificadas juntas. En lugar de presentaciones con diapositivas llenas de texto que se lee, diapositivas con imágenes que serán explicadas, que serán narradas, en un tono conversacional amigable y educado.

Seleccionar imágenes adecuadas a los objetivos de aprendizaje, que transmitan una o pocas ideas básicas, que no contenga información superflua. Explicar imágenes simples destacando sus partes, componentes, entidades y las relaciones entre ellas, resaltando las relaciones causales relevantes, apuntando a los aspectos conceptuales claves, ayudando a relacionar significativamente imagen y palabra.

Seleccionar animaciones que sean cortas o que se ejecuten con pausas. Antes de su ejecución presentar los componentes y entidades que participan en la animación mediante capturas de pantallas donde estén etiquetadas esas partes y entidades. Presentar la animación resumiendo su objetivo y pasarla la primera vez entera, explicando la misma y luego en segmentos. Durante la animación guiar a los estudiantes señalando las interacciones relevantes entre esos componentes o entidades.

Intercalar durante la resolución de ejercicios ejemplos resueltos. Demostrar técnicas de laboratorio o utilizar videos a partir de los cuales los alumnos puedan imitar lo que ven. Los estudiantes ven y escuchan al profesor que resuelve en voz alta, y apoyado en esquemas, un problema o lo ven ejecutar y explicar paso por paso un procedimiento o técnica química.

La incorporación sistemática de imágenes también debe implementarse en la evaluación, añadiendo problemas acompañados de ilustraciones o situaciones problemáticas realizadas con capturas de pantalla. En los exámenes finales presentar diagramas, tablas, gráficos y pedirles a los alumnos que los expliquen.

En todo momento motivar a los estudiantes, instándoles a realizar el esfuerzo cognitivo de integrar representaciones verbales y pictóricas, de dar sentido al material a la luz del conocimiento previo. Esto conducirá a aprendizajes más profundos, a aprendizajes significativos, que van más allá del recuerdo y reconocimiento, y permiten su aplicación o transferencia a situaciones nuevas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bishop, M. (2013). *Animations for An Introduction to Chemistry*. Chiral Publishing Company. Recuperado el día 15 de octubre de 2018 de http://preparatorychemistry.com/Bishop_animations.htm
- Clark, R. y Lyons, C. (2011). *Graphics for learning* (2nd ed.). San Francisco: Pfeiffer.
- Clark, R. y Mayer, R. (2016). *e-Learning and the science of instruction* (4º ed.). New Jersey: Wiley.
- Lemke, J. (2002). Enseñar todos los lenguajes de la ciencia: palabras, símbolos, imágenes y acciones. En: *La Educación en Ciencias: ideas para mejorar su práctica*. Barcelona: Ed. Paidós
- Mayer, R. E. (2008). *Learning and instruction* (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Merrill Prentice Hall.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.
- McLaren, B., DeLeeuw, K. y Mayer, R. (2011). A politeness effect in learning with web-based intelligent tutors. *International Journal of Human-Computer Studies*, 69(1), 70–79.
- Prociencia (1986). *Química de los compuestos de carbono*. Conicet.
- Raviolo, A. (2006). Las imágenes en el aprendizaje y en la enseñanza del equilibrio químico. *Educación Química*, 17(nº extraordinario), 300-307.

- Raviolo, A. (2015). Los dibujos esquemáticos en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. *Novedades Educativas*, 295, 66-70.
- Raviolo, A. (2016). Las imágenes en libros de texto universitarios: el capítulo equilibrio químico. *Educación en la Química*, 22(1), 26-38.
- Raviolo, A. (2018a). *La imagen en la enseñanza de la Química y principios del aprendizaje multimedia*. Conferencia plenaria, XVIII Reunión de Educadores en la Química. Río Cuarto, Argentina.
- Raviolo, A. (2018b). Imágenes y enseñanza de la Química. Aportes de la Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia. *Educación Química*, en prensa.
- Raviolo, A. y Farré, A. (2017). Una evaluación alternativa del tema titulación ácido-base a través de una simulación. *Educación Química*, 28, 163-173.