

La imagen en la enseñanza de las ciencias

Andrés Raviolo

Universidad Nacional de Río Negro
araviolo@bariloche.com.ar

¿Qué se ve en una clase de ciencias naturales/experimentales? ¿Qué se hace con lo que se ve? En esta presentación se desarrollan algunas reflexiones didácticas en torno a la imagen y los recursos visuales que pueden emplearse en una clase de ciencias. El objetivo es reflexionar sobre las relaciones entre la imagen y el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias.

Se trata de ponerle color a la clase de ciencias, de superar la clase gris, de pizarrón y tiza, de la fotocopia blanco y negro. Poner color no con una intención decorativa o simplemente motivadora sino como facilitador del aprendizaje, para lograr más y mejores aprendizajes. Existen ciertos supuestos sobre el rol de la imagen en el aprendizaje y la enseñanza (como que las imágenes son autoevidentes, autoexplicativas, que todos vemos lo mismo en una imagen, o se descartan o minimizan sus dificultades intrínsecas); esto ocurre tanto sobre imágenes que se emplean en las clases, en libros de textos, o provenientes de las TIC. También existen ciertas rutinas pedagógicas con las imágenes. Esto hace de esta temática, siempre vigente, un terreno resbaladizo (“un piso mojado”), en donde es necesario tomar las precauciones didácticas necesarias.



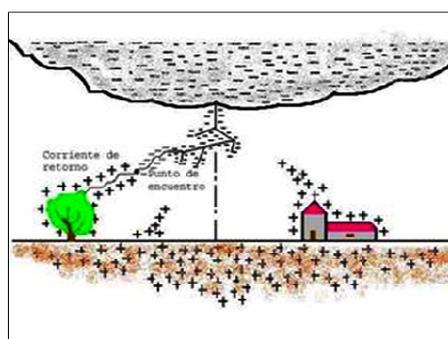
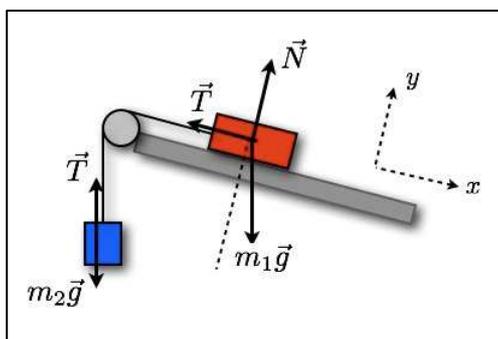
Existe una gran diversidad de términos que suelen usarse sin mucha precisión, incluso ser tratados como sinónimos: imagen, ilustración, esquema, diagrama, dibujo esquemático, animación, simulación, análogo concreto, maqueta, etcétera. A su vez, cada uno de ellos se emplea con una gran variedad de significados, dando lugar a una situación algo caótica que se manifiesta en las aulas, en los textos y también en las publicaciones de Didáctica de las Ciencias. Para la interpretación de las imágenes presentes en la clase de ciencias es necesario tener claro los conceptos de modelo (los modelos están asociados a imágenes), analogía (comparación de imágenes) y metáfora (evocación imágenes). En este trabajo se realiza un intento de discriminar y definir estos términos.

Como recursos visuales nos referimos a: objetos (concretos, manipulables u observables en el aula, en el laboratorio, en una salida de campo), y a imágenes que aparecen en un libro de texto, una lámina, en la pantalla de una computadora, en una proyección como: fotos o ilustraciones (con carácter realista), dibujos esquemáticos (representaciones simplificadas) y versiones dinámicas o en movimiento de los anteriores como animaciones, simulaciones y videos (Raviolo, 2010). Constituyen representaciones externas. Si bien la mayoría de ellos siempre estuvo presente en las aulas, con la mayor accesibilidad a estos recursos que nos dan las TIC, tanto para docentes como para alumnos, cada día son más necesarias las reflexiones educativas. Los replanteos didácticos sobre el uso de imágenes en la enseñanza siempre estuvieron presentes, pero en el contexto actual estos replanteos tienen mayor vigencia. Son necesarias las reflexiones sobre la enseñanza, sobre cómo estas representaciones externas mejor favorecen aprendizajes, la construcción de representaciones internas adecuadas.

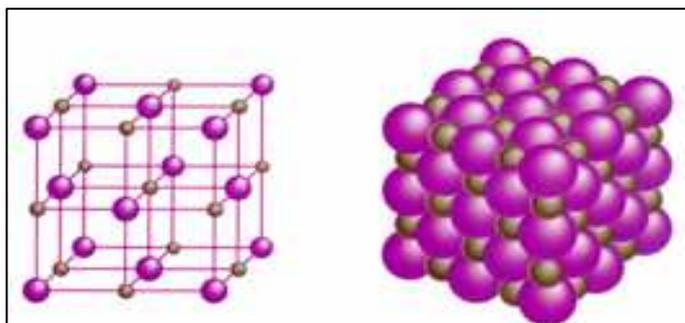
Desde los objetos, fotos e ilustraciones hasta las redes conceptuales, el grado de realismo, o grado de iconicidad, va decreciendo, ubicándose los dibujos esquemáticos como un intermedio. A menor iconicidad mayor grado de simbolización. Las formas más abstractas requerirán mayor conocimiento de códigos simbólicos, el uso de signos normalizados, de convenciones (Perales y Jiménez, 2002). Iconicidad es lo opuesto a abstracción.

Una primera reflexión es que las imágenes, las presentadas por incluidas en TIC por ejemplo, no reemplazan las actividades de observación sistemática, manipulación, y experimentación que proveen las actividades experimentales, las demostraciones, las salidas de campo. Por otro lado, no emplear de algún modo recursos TIC es al día de hoy cuestionable. El desafío es lograr la mejor complementariedad entre ambos recursos.

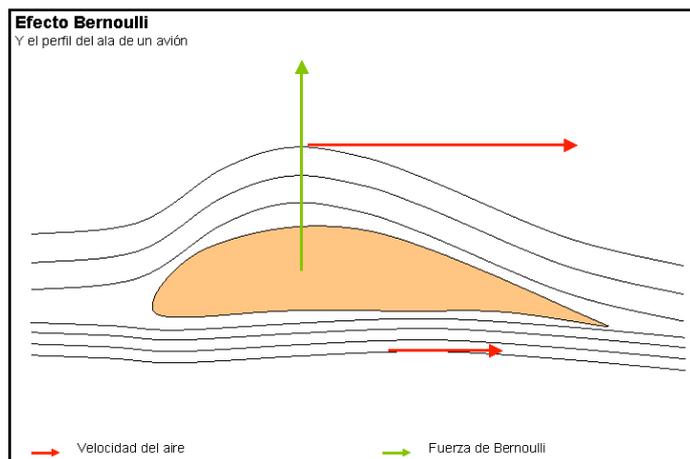
Especial atención se merecen los dibujos esquemáticos. Concebidos como representaciones simplificadas o esquemáticas de objetos o entidades, por ejemplo la imagen en dos dimensiones de un cubo cayendo en un plano inclinado. Son dibujos en los que prima la representación de las relaciones prescindiendo de los detalles. Muchas de esas relaciones no son visibles en el objeto de referencia. No son imágenes reales, reproductivas que intenten copiar lo observable, son construidas, dado que incluyen o integran cosas que no podríamos ver juntas, como incluir elementos de distintos niveles de organización, por ejemplo la foto de un órgano (macroscópico) con un corte que muestra el tejido (microscópico).



Los dibujos esquemáticos difieren de los diagramas, redes o esquemas conceptuales (relaciones entre palabras) y de los gráficos (relaciones numéricas) en que alguna parte (o partes) del dibujo se corresponden a partes de algún objeto real o entidad, alguna parte es figurativa. Aunque muchas veces los dibujos esquemáticos que se presentan en textos o clases de ciencia no provienen directamente de un objeto real sino constituyen (o incorporan) una visualización de un modelo científico, una imagen externa de una construcción humana explicativa y predictiva.

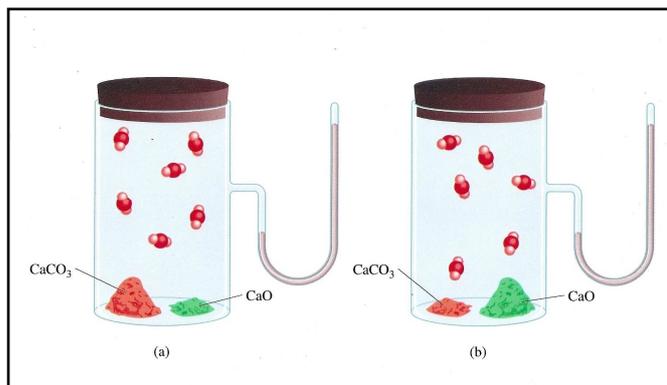


Los dibujos esquemáticos pueden estar acompañados con signos (palabras, números, flechas). Incorporan a las representaciones de objetos (por ejemplo las partes de una máquina) conceptos abstractos como las fuerzas que actúan. Se usan símbolos que son interpretados por convenciones, por ejemplo el corte transversal de un ala de avión, con líneas de flujo de aire y flechas representando fuerzas (peso, fuerza de sustentación).



Algunos dibujos esquemáticos que aparecen en libros de texto pueden resultar problemáticos si no ayudan al aprendizaje, como se demuestra para el caso de la formación de imágenes ópticas (Pérez y otros, 2003) o en la comprensión de fenómenos astronómicos (Martínez y Gil, 2001). La sintaxis pauta la semántica.

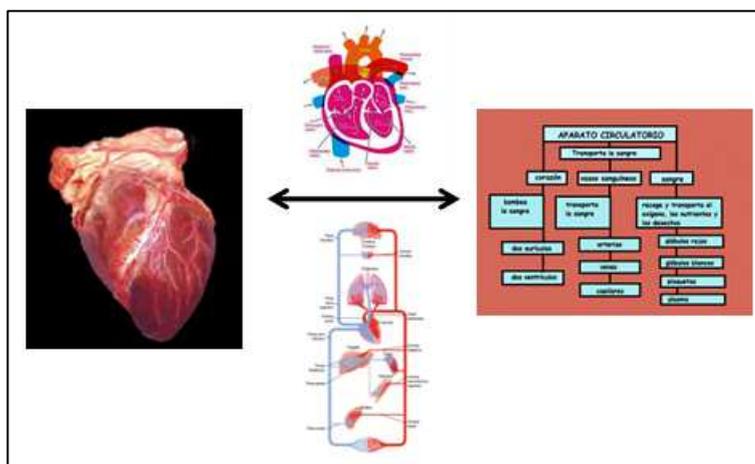
Un aspecto destacado de los dibujos esquemáticos es que muestran relaciones entre distintos niveles o modos de representación o de organización, que no son visibles en los objetos. Una de sus finalidades es la de mostrar e integrar estas relaciones entre distintos niveles de representación de la materia (macro, micro y simbólico) o entre los niveles de organización de la biología (individuo, sistema de órganos, órganos, tejidos, célula, organelo celular, macromolécula...). Esta complejización a su vez le da un mayor grado de dificultad a la comprensión del dibujo esquemático.



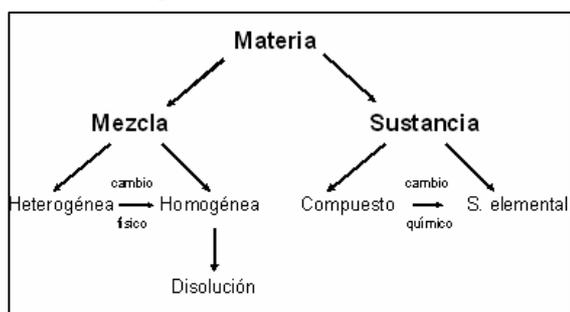
En los dibujos esquemáticos aumenta el nivel de abstracción porque recurren a modos o niveles de representación no perceptibles a simple vista, en el caso de la Química al microscópico y al simbólico. En el caso de la Física son frecuentes las representaciones del cuerpo puntual, con fuerzas y vectores. Los dibujos esquemáticos al integrar distintos niveles de representación son esenciales en la resolución de problemas, dado que brindan un “croquis” o representación de la situación.

La comparación entre el fenómeno representado y el modelo no siempre es tarea sencilla dado que se suele atribuir incorrectamente aspectos o características de uno a otro. La necesidad de diferenciar evidencia /observación de explicación /modelización; observaciones de “ideas inventadas” fue señalada por Gellon y otros (2005). Hay dificultades para diferenciar entre un hecho o fenómeno observado y una inferencia a partir de esas observaciones, ideas teóricas que le dan sentido a las observaciones. En un dibujo esquemático se combina realidad y modelo, con lo que refuerzan la dificultad mencionada. Esto le otorga una “complejidad epistemológica” a las imágenes.

Una idea central sobre el rol fundamental de los dibujos esquemáticos es que los dibujos esquemáticos constituyen un nexo (un puente, un camino) hacia la palabra. Un puente entre la imagen (realista) y las proposiciones, en la construcción de un modelo mental sobre el funcionamiento del sistema o de un aspecto del sistema estudiado. Una propuesta didáctica factible es recorrer un camino (de ida y vuelta) desde los objetos (manipulaciones), fotos, ilustraciones (imágenes realistas, reproducciones) hasta los esquemas conceptuales, haciendo hincapié en los dibujos esquemáticos. Un camino guiado por el docente.



En los esquemas o redes conceptuales se ordenan o jerarquizan los conceptos claves seleccionados de la temática y las relaciones entre ellos. Muestran una distribución singular de palabras en el plano. Se destacan los conceptos y palabras relevantes que se articulan en proposiciones explicativas de las imágenes. Sería conveniente seleccionar dibujos esquemáticos que refuercen una idea básica o pocas, expresables en proposiciones sencillas, que empleen las palabras o conceptos relevantes que forman parte del esquema o red conceptual de la temática recortada.



En este recorrido a la palabra a través de los dibujos esquemáticos la imagen pierde grado de realismo. Aumenta la abstracción de la imagen y aumenta su intención. Los dibujos esquemáticos se realizan con un propósito, resaltan un aspecto de la temática conceptual, una idea. No son una “captura” directa, no intervenida, de la realidad. El recorte de la realidad o del modelo teórico se realizó con una intención. Para ello recurren a gruesas simplificaciones. Así la primera imagen mostrada en esta presentación tiene como propósito mostrar el fenómeno de producción de un rayo, la segunda imagen tiene por objetivo aplicar el principio de Bernoulli al vuelo de un avión; la tercera imagen persigue el propósito de mostrar que un equilibrio químico heterogéneo no cambia su composición gaseosa (y su presión) si se saca o se agrega especies sólidas mientras haya cantidades de las mismas presentes. Los dibujos esquemáticos más adecuados serán los que den cuenta de una o pocas ideas básicas. Se podría llegar a sugerir que es conveniente buscar o crear un dibujo esquemático (por lo menos) para cada idea básica a abordar en la enseñanza de un tema.

Una posible orientación de la enseñanza es prestar atención a cómo “llenar el espacio” entre la visualización del fenómeno (objetos, ilustraciones, fotos) y la red conceptual objetivo de la enseñanza. Un camino sugerido es a través de dibujos esquemáticos y visualizaciones de modelos que traduzcan en proposiciones o ideas básicas que van formando parte de esa red conceptual. Proceso que se ve complementado con símbolos y gráficos (relaciones entre números).

Aprendizaje con imágenes

Existe una imagen de la imagen, o conjunto de creencias de la psicología o pedagogía popular respecto de la imagen en educación. Ese imaginario pedagógico (Otero et al, 2003; Perales y Jiménez, 2002; Matus Leites et al, 2008; etc) nos dice:

- Los atributos que les adjudicamos a cualquier tipo imagen se corresponden más a los atributos de una foto.
- Hay una relación directa entre imágenes externas e internas, que las externas se almacenan como fotos en la cabeza.

- Las imágenes son más “sencillas” que las palabras y se recordarían y comprenderían más fácilmente.
- Las imágenes son transparentes, “auto evidentes”, por tanto, no necesitarían explicación ni decodificación.
- Las imágenes representan conocimiento “verdadero”. (“ver para creer”)
- Las imágenes externas son más adecuadas para los niveles iniciales de escolaridad porque se comprenden mejor que las palabras.
- Las ilustraciones motivan a los estudiantes y como resultado, mejoran la atención y favorecen el aprendizaje.
- Las imágenes ayudan a los estudiantes menos dotados intelectualmente.
- Mejoran la comprensión de procesos complejos al dar una visión de “conjunto”.

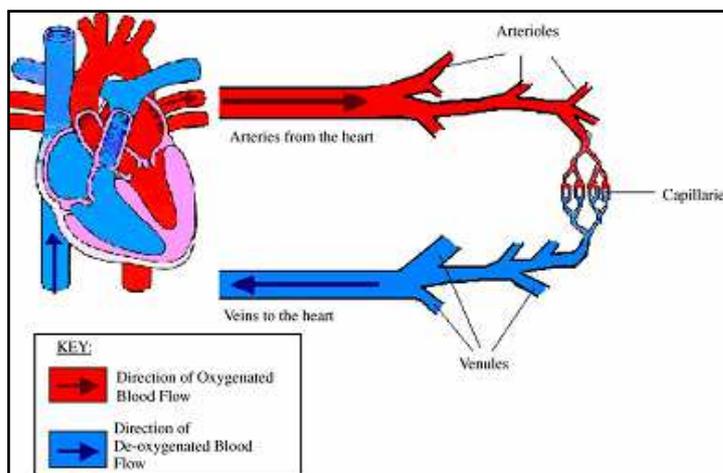
Estas afirmaciones no son verdades absolutas, algunas pueden ser válidas en un contexto adecuado y controlado. Se tiene que construir a partir de la imagen, no se aprende por percepción de la imagen, se tiene que construir a partir de ella. Cuando la complejidad del tema es mayor, las imágenes pueden producir un efecto contrario, a los estudiantes les llevará más tiempo analizar las imágenes. Las imágenes externas no originarían necesariamente imágenes mentales. Las personas les dan significado, las interpretan en función de sus conocimientos previos, necesidades, estrategias y capacidades. Es distinto aprender la imagen y aprender a través de la imagen. El proceso de construcción es favorecido cuando la imagen está acompañada de texto, de audio, de la explicación del docente.

Son necesarias las reflexiones sobre la imagen y aprendizaje, sobre cómo estas representaciones externas mejor favorecen un aprendizaje significativo y la construcción de modelos mentales que permiten darle significado a la información recibida. Modelos mentales entendidos como representaciones internas con carácter descriptivo, explicativo, predictivo del fenómeno y operativo (que permitan a la persona actuar, intervenir, de una forma efectiva sobre ese sistema). Le dan sentido a las imágenes y proposiciones.

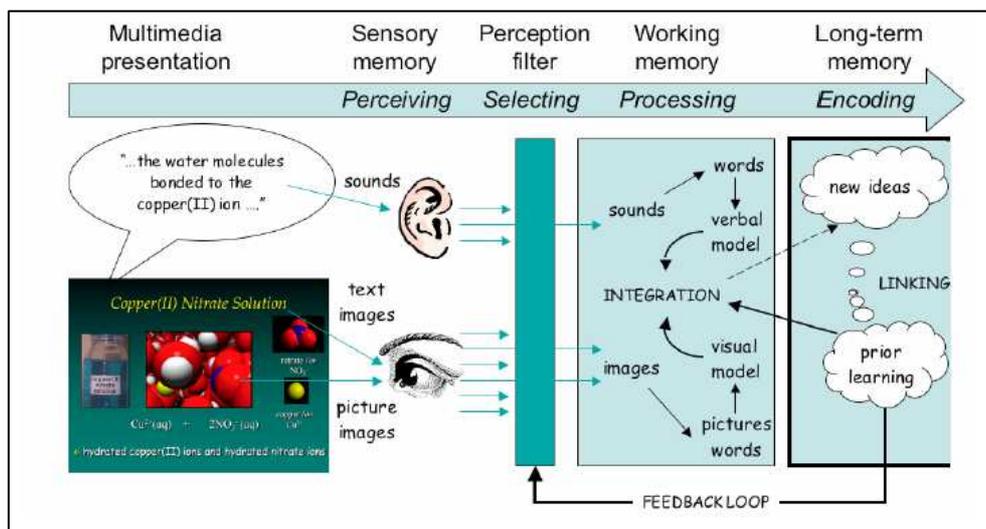


Los estudiantes comprenden más en profundidad un material de estudio si generan explicaciones para ellos mismos (o autoexplicaciones) mientras lo están aprendiendo. La forma en cómo se presenta el material de estudio (texto o dibujos esquemáticos) influye en el número y calidad de las autoexplicaciones de alumnos que aprenden el sistema circulatorio humano (Ainsworth y Loizou, 2003). Estos autores comprobaron que los participantes a los que se les brindó información mediante dibujos esquemáticos, generaron más autoexplicaciones, y aprendieron más sobre el SCH que a los emplearon textos. Las autoexplicaciones resultaron más beneficiosas si ayudan a

integrar el conocimiento visual y el verbal. Esto se debe a que: (a) Las representaciones externas pueden reducir la cantidad de esfuerzo cognitivo requerido para resolver un problema; (b) permiten la re-representación (representaciones externas alternativas para la misma estructura abstracta); (c) limitan el rango de inferencias que se pueden hacer sobre un concepto representado (ser menos ambiguas que los textos) y (d) las representaciones gráficas facilitan las autoexplicaciones dado que restringen la interpretación limitando la abstracción y proveen al aprendiz con una retroalimentación (feedback) más útil y fértil para cotejar sus explicaciones.



Un modelo de procesamiento de la información multimedia fue presentado por Tasker y Dalton (2006), combinando los modelos teóricos de Mayer (1997) y Johnstone (1986). Describe el aprendizaje en términos de un sistema de procesamiento de la información audiovisual. Los estímulos verbales y visuales se perciben en distintas partes de la memoria sensorial, estos se seleccionan a través del filtro perceptivo, en la memoria de trabajo (de limitada capacidad) se integran y procesan ambas informaciones, se almacena la información en la memoria de largo plazo para una eficiente recuperación y transferencias a nuevas situaciones.

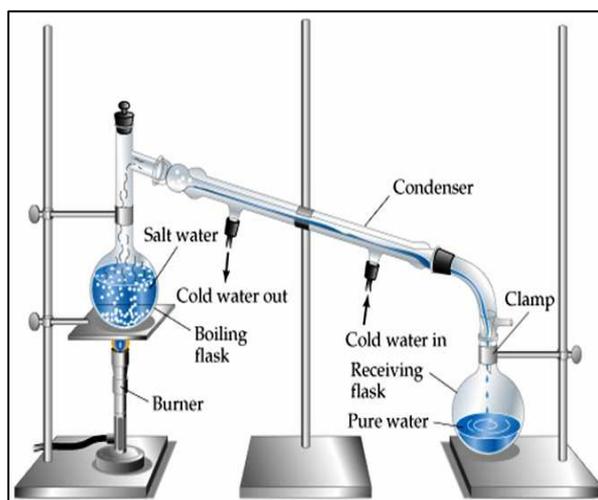
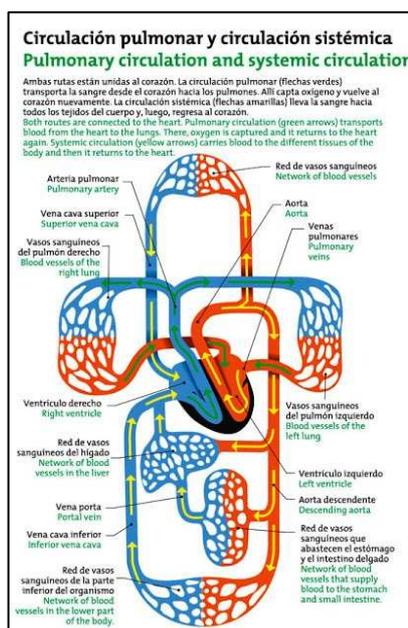


Algunas implicaciones educativas de este modelo en la enseñanza con animaciones son:

- Los estudiantes deberían tener el control al pasar la animación (pausarla, volver atrás...) esto reduce la velocidad de carga de información presentada y da tiempo para realizar reflexiones causa efecto
- La información verbal y visual se deberían complementar entre sí, no suplementar con el riesgo de saturar la memoria de trabajo.
- Los textos deberían ser presentados dentro de las imágenes o gráficos, no separadamente y las animaciones con narraciones en simultáneo (principio de contigüidad –Mayer 1997).

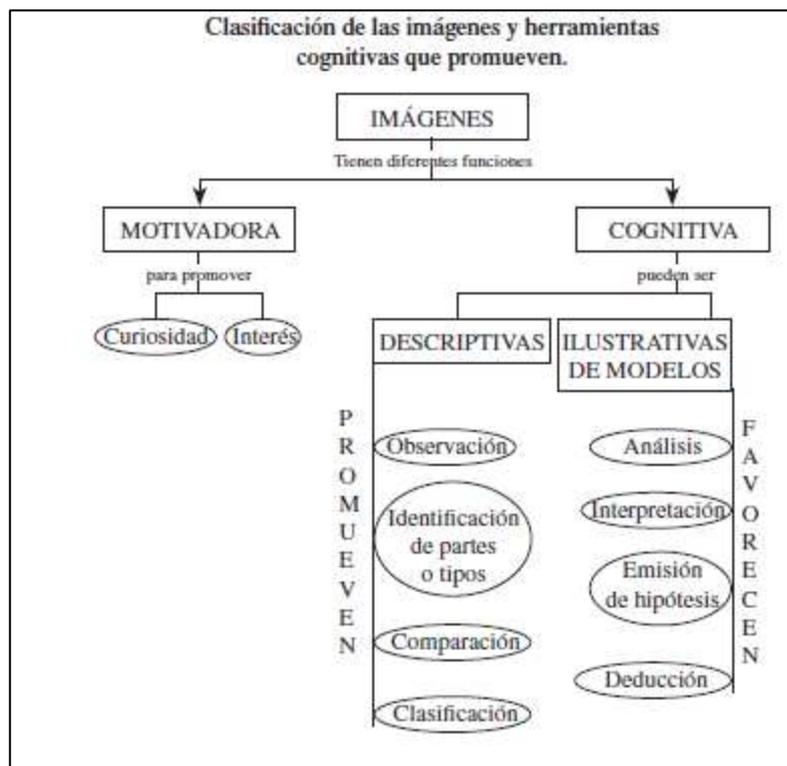
La capacidad de la memoria de trabajo puede ser más eficiente combinando los sentidos usados para percibir la información. Es más fácil procesar la información cuando es presentada en forma visual y auditiva, que cuando es presentada por un solo sentido (Sweller, 1994). Por ello resultan útiles las narraciones en las animaciones más que usar sólo cuadros de texto.

La memoria de trabajo es limitada y puede procesar un número reducido de unidades de información (cerca de 7) al mismo tiempo, por ejemplo en la resolución de un problema. Imágenes muy saturadas de información dificultarán su procesamiento. Dependerá también cómo sean integradas o asociadas esas unidades de información. Para un experto, por ejemplo, el conjunto de materiales que conforman un montaje específico, constituye una sola unidad de información, como el montaje de destilación mostrado en la figura. Para los alumnos constituye inicialmente un conjunto de elementos y entidades sin relación entre sí.



El conocimiento previo (memoria de largo plazo) influye en la lectura global de la imagen, del todo. Los expertos extraen la idea básica, la idea básica a transmitir para la cual fue construida la imagen o presentada. El novato hace una lectura de las partes, término a término, entidad a entidad, lo que conlleva mayor demanda de procesamiento. Cuando los estudiantes interactúan con una simulación/animación, tienen el control de manipular las imágenes, pueden explorar, repetir, emitir hipótesis y verificarlas. Es importante que el estudiante hable sobre la imagen, que de autoexplicaciones.

Las funciones de las imágenes puede distinguirse en el siguiente cuadro (Gil y Martínez, 2005). En la práctica se reconocen más las funciones motivadoras y descriptivas, que las relacionadas a modelos.



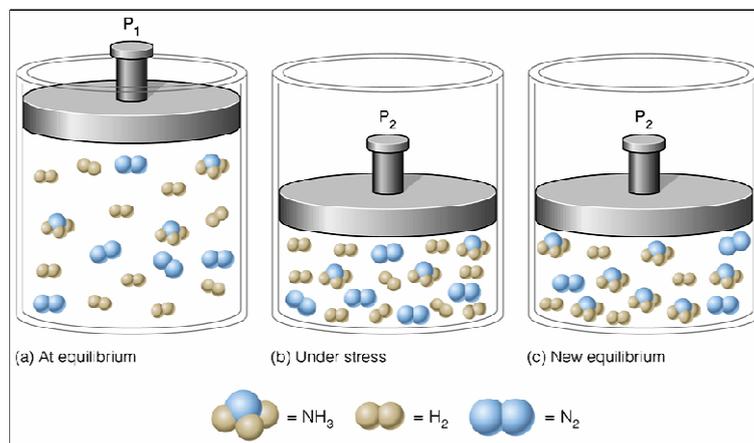
Los libros de texto de secundaria tienen aproximadamente un 50% de la superficie cubierta por imágenes (fotos, dibujos, esquemas, gráficos) (Jiménez y Perales, 2001). Estas imágenes cumplen una función del tipo motivadora, hacen más atractivo el texto y se supone que favorece la comunicación de la información. El tema es ir más allá de una función decorativa. En las imágenes que ilustran modelos, algún aspecto (o aspectos) de la explicación se deducen de la ilustración. Implica la manipulación (mental) de entidades abstractas. Se accede al modelo mediante el lenguaje oral, escrito y gráfico. Se utiliza la imagen para elaborar conocimientos, mediante actividades adecuadas que soliciten y activen modelos mentales.

Mathai y Ramadas (2009) estudiaron el rol de los dibujos esquemáticos (diagrams) y textos en la comprensión y visualización de algunos sistemas de órganos humanos, como el digestivo y el respiratorio. Verificaron que los alumnos presentan dificultades en la comprensión de dibujos esquemáticos, especialmente en la interpretación de: los procesos micro o químicos, las relaciones estructura- función y la noción de sección transversal. Estas dificultades estuvieron relacionadas parcialmente al conocimiento biológico específico y también a algunos aspectos generales de los dibujos esquemáticos como el uso de símbolos y convecciones o a la cantidad de información que procesan. Estos resultados pueden transferirse al aprendizaje de otras ciencias experimentales.

Los alumnos carecen de una imagen del sistema físico del que se está hablando, en cambio los docentes, los expertos, disponen de diversas imágenes del sistema físico que

enseñan. Tenemos la ilusión de que compartimos sobre lo que estamos hablando. Por ello es esencial presentar variedad de imágenes.

En la enseñanza de la química el camino hacia la palabra se realiza, frecuentemente, desde una ecuación química solamente. Una ecuación química sobre la cual los estudiantes tienen serias dificultades conceptuales. La utilización de diferentes tipos de representación del conocimiento mejora la visualización de conceptos abstractos.



En biología establecer relaciones estructura-función también es un camino hacia la palabra. Lo mismo ocurre en química o en física al establecer relaciones estructura/composición-propiedades. Los dibujos esquemáticos y, en especial, sus versiones dinámicas (animaciones y videos) ayudan a construir estas relaciones.

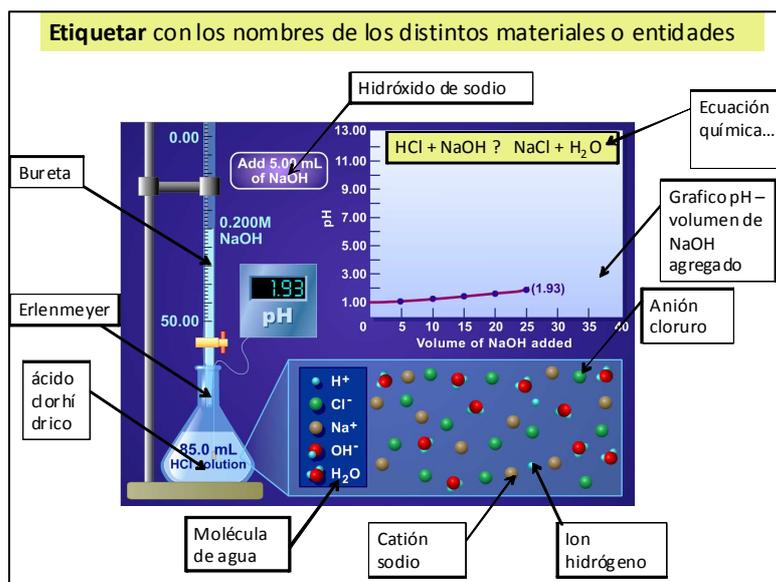
En el camino de la descripción a la explicación, de la estructura a la función, se recurren generalmente a símbolos y convenciones. Como ya se mencionó, este recorrido se favorece con el empleo de recursos que resalten su naturaleza dinámica (en movimiento) como animaciones y videos. Los videos y animaciones también ayudan en la interpretación de fenómenos en 3D, en el paso de imágenes planas, que representan fenómenos u objetos en 2D o en 3D a través de la perspectiva. Una simulación (de carácter cuantitativo) que permite cambiar valores de variables, suele integrar una animación a un modelo matemático subyacente, e incorporar gráficos (formas de visualización de relaciones numéricas).

¿Alcanza sólo con pasar, mostrar, una animación para que los alumnos logren una comprensión conceptual adecuada? ¿qué significa $\text{NaCl}(\text{ac})$? Muchas dificultades se deben a que los estudiantes construyen inadecuados modelos mentales del nivel molecular. No es suficiente los diagramas estáticos, sobre simplificados, de dos dimensiones de los libros de texto. Esto requiere moverse entre los tres niveles de representación, integrando teoría y práctica. Pocos docentes y textos enseñan explícitamente estos tres niveles y sus relaciones.

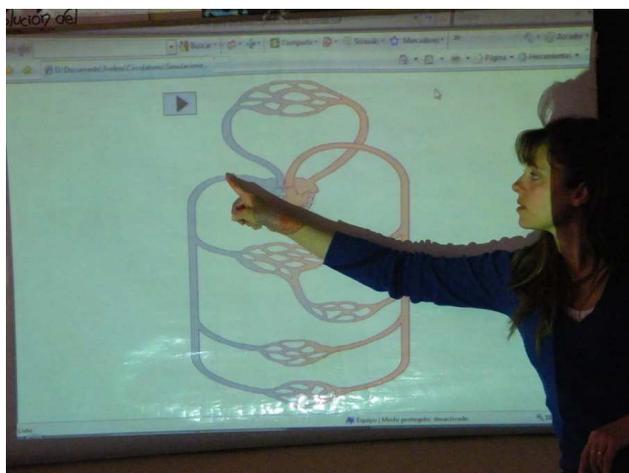
Los estudiantes presentan dificultades para visualizar los fenómenos físicos. El proyecto PhET (Perkins y otros, 2006) pone a disposición un gran número de simulaciones animadas, interactivas y con un formato atractivo que favorece la exploración por parte de los estudiantes. En las simulaciones se establecen conexiones entre los fenómenos y los modelos visuales y conceptuales subyacentes; se muestran aspectos no visibles al ojo humano. Los estudiantes interactúan ajustando controles que se traducen en una respuesta animada inmediata, representada visualmente, que facilita establecer

relaciones causa efecto y mejorar las habilidades de relacionar distintos modos de representación. Fomentan la formulación de preguntas del tipo ¿Qué pasa si? y con ello extender sus exploraciones más allá de los alcances de las actividades de laboratorio tradicionales. Los autores sostienen: “Cuando se usan las simulaciones, los alumnos y profesores ven los mismos objetos y movimientos, lo que les permite focalizar su tiempo y su atención en desarrollar la comprensión más que en establecer una imagen común”.

El producto de las capturas de pantalla (print screen) de una simulación suele resultar ser un dibujo esquemático. A partir de ellas se pueden desarrollar actividades de etiquetado, que faciliten el paso a la palabra, la construcción de párrafos coherentes.



Desde el punto de vista metodológico para facilitar esta función de puente hacia los conceptos, que se pretende de los recursos visuales, es necesario “hablar la imagen”, proponerse identificar y expresar las proposiciones relevantes. Leer la imagen para hablar y escribir ciencia (“alfabetización visual”). La idea de que las imágenes son autosuficientes, autoevidentes y beneficiosas de por sí (Otero y otros, 2003), que una imagen vale por mil palabras, o que un gráfico vale por 1000 datos (Postigo y Pozo, 2000), es muy cuestionable. Cabe preguntarse qué tipo de imagen y cómo proceder para que valga mil palabras (Larkin y Simon, 1987). En este trabajo se está proponiendo otra idea “una imagen con 1000 palabras”.



Es esencial preguntar a los alumnos: ¿cuál es el propósito de este dibujo esquemático? ¿qué aspecto o idea del fenómeno alude o resalta? para ello ¿a qué recortes o simplificaciones acude? ¿qué tiene de absurdo o irreal? ¿a qué confusiones podría llevarnos? ¿es efectivo? ¿las ventajas (cumplir adecuadamente su propósito) son mayores que sus limitaciones (complejidad, dificultad, confusiones)?

El uso de dibujos esquemáticos puede constituirse en un camino necesario hacia la conceptualización pero tiene que ser un camino dialogado. Negociar los significados de las imágenes significa acordar significados, institucionalizar. Las explicaciones del docente no deben limitarse a detalles de la imagen sino comenzar con lo más general, con su propósito, identificar y expresar las ideas básicas que conlleva.

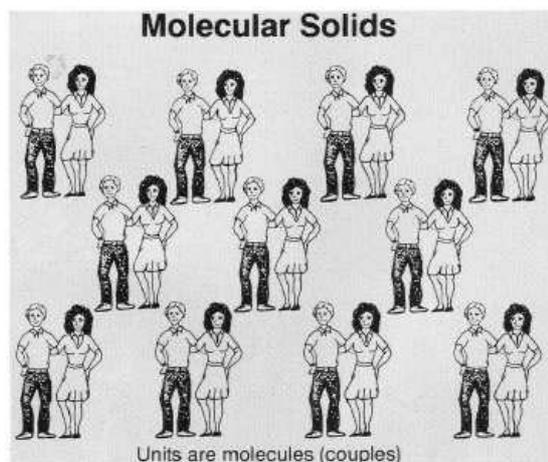
Existe una inercia o dificultad de modificar nuestras prácticas docentes. En clases de escuela secundaria que emplean en forma sistemática recursos visuales como animaciones y videos se sigue, frecuentemente, un camino de la imagen a la palabra como un proceso de reducción (Raviolo, Aguilar y Ramírez, 2012). La metodología de aula se orienta a completar una guía de preguntas (la mayoría de tipo cerrado), cuyo producto final es un texto escrito, de carácter muy fragmentado, a estudiar para la evaluación. Se aprecia un escenario de clases “animadas” o “llevaderas” con un final o producto que promueve el aprendizaje memorístico. Los recursos visuales no deberían concebirse como un recurso decorativo de clases tradicionales. Tampoco se están brindando indicaciones para decorar presentaciones o exposiciones, la idea central es que las imágenes pasen de ser un objeto de decoración a ser un objeto de discusión, a un espacio que promueva la construcción de modelos mentales.

Las animaciones, videos, dibujos esquemáticos, no reemplazan la actividad con los objetos concretos, con los experimentos de laboratorio o el uso de maquetas. Las maquetas son “objetos esquemáticos”. Las maquetas pueden resultar más útiles para alumnos que necesitan manipular el material concreto. Como ya se mencionó muchas visualizaciones de modelos son dibujos esquemáticos.

Es importante emplear estos recursos visuales en la evaluación. Una evaluación/ acreditación creativa y coherente con el proceso activo de enseñanza y aprendizaje. Una actividad de búsqueda de divergencias del contenido de las imágenes con lo enseñado, o búsqueda de errores y limitaciones de un video o animación. Presentar una imagen o una animación y solicitar que la expliquen, o más pautado, que la expliquen “usando por lo menos una vez cada uno de los siguientes conceptos”.

Otro aspecto destacado es que el estudiante, el docente o el libro de texto recurren a analogías. Una analogía es una comparación de estructuras y/o funciones entre dos dominios (Duit, 1991): un dominio conocido (análogo) y un dominio nuevo o parcialmente nuevo de conocimiento (objetivo). Las analogías comparan imágenes, las metáforas las evocan. Muchas secuencias didácticas para emplear analogías en las clases sugieren emplear imágenes para activar el análogo y para establecer comparaciones con el objetivo (Glynn, 1991). Para Curtis y Reigeluth (1984) una buena analogía presentada en un texto tendría que mostrarse con un formato mixto (verbal y pictórico). Muchas imágenes, animaciones y videos abordan o representan analogías. Aquí el camino toma una vía paralela de correspondencias, donde se establecen comparaciones entre ambos dominios: el objetivo y el análogo. Por ser el proceso de

empleo de una analogía un proceso de comparación con lo conocido o familiar muchas veces se recurre a ideas animistas o antropocéntricas las cuales hay que discutir en clase (Raviolo y Ramírez, 2009).

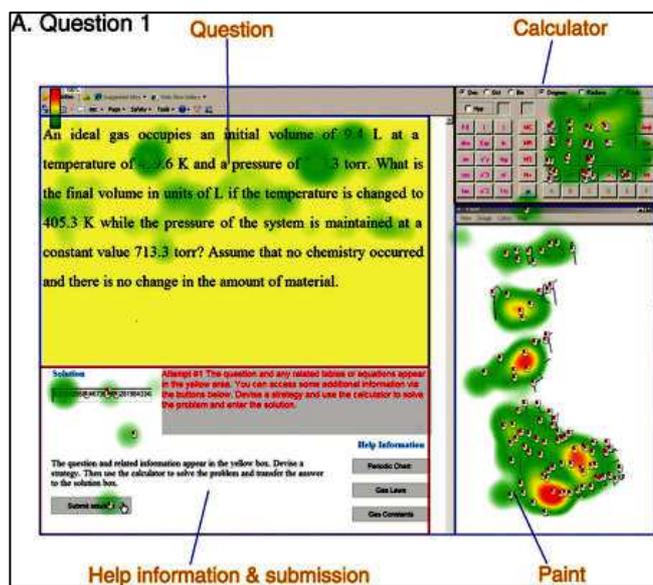


Se deben favorecer estrategias metacognitivas que ayuden a aprender mejor el contenido. Hacer tomar conciencia de que lo que se está usando es una analogía o un dibujo esquemático simplificado, que ambos recursos tienen un propósito, que son construcciones realizadas con una intención, que tienen sus correspondencias y sus limitaciones, son aspectos que favorecen el aprendizaje. Más aún, se aprende mejor el contenido si se conoce sobre la naturaleza de estas representaciones o recursos.

Están apareciendo en investigaciones educativas trabajos que emplean tracking visuales (eye-tracking). Este dispositivo consiste en una cámara especial, que con un software específico, puede determinar la localización de las fijaciones oculares y de los movimientos rápidos de lo que se mira en una pantalla. Las fijaciones del ojo, miradas que permanecen en un punto fijo durante un lapso de tiempo (entre 100 a 300 ms), permiten obtener y procesar la información visual. Los nuevos aparatos no son intrusivos (invasivos), no requieren artefactos conectados en la cabeza, ni requieren que la persona esté quieta dado que compensa los movimientos de la cabeza. La calibración lleva menos de un minuto. Emiten una fuente de luz infrarroja y posee sensores en el monitor que reciben la reflexión desde los ojos. Es conocida la marca sueca Tobii. Provee información acerca de la localización, duración y secuencia de la representación visual que el sujeto ve. Se investigan las áreas de interés o zonas a la que los sujetos prestan atención. El número total de fijaciones visuales en una región es un indicador de la importancia de la información de esa región y cuán efectivamente fue transferida a la memoria de largo plazo. A su vez la secuencia de fijaciones implica las estrategias de procesar la información o resolver un problema y se traduce en la organización final en la memoria de largo plazo.



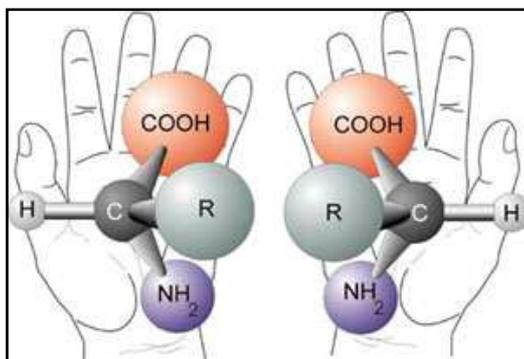
Por ejemplo, en el *Journal of Chemical Education*, han aparecido 4 artículos desde el 2012. Uno de ellos (Tang y Pienta, 2012) da cuenta de una investigación sobre cómo los estudiantes resuelven problemas de las leyes de los gases, en particular la ley de Charles. Analizaron 5 problemas con grado creciente de complejidad y dos grupos de alumnos (exitosos y no exitosos en la resolución de esos problemas). Compararon los tiempos y puntos de fijación de los dos grupos. Los resultados mostraron que, si bien era mayor la dificultad a medida que se avanzaba en los cinco problemas, los tiempos fueron disminuyendo en ambos grupos como producto del efecto aprendizaje. Sin embargo, el problema 2 les llevó más tiempo debido al cambio de formato (la aparición de una tabla) y a la mayor carga o demanda cognitiva que demanda. Para un experto la presentación en una tabla es una buena forma de organizar la información no para un novato. Para los alumnos no exitosos la tabla actuó como un distractor; también se fijaron más en la pregunta del problema, releýndola, y usaron más el valor de la presión en los cálculos cuando esto no es necesario dado que se mantiene constante. Se notó que ambos grupos de estudiantes fijaron más su vista en la expresión del volumen, en la conversión de unidades entre mL y L. Concluyeron que los tiempos y números de fijaciones son una medida directa y objetiva de la carga o demanda cognitiva. La secuencia de resolución (patrones de movimientos visuales) se dividió en tres: lectura inicial, planificación y cálculo. Ambos grupos tardaron lo mismo en la lectura inicial, pero los no exitosos consumieron más tiempo en la planificación, con su correspondiente mayor esfuerzo cognitivo. Los lugares de la pantalla donde se producen fijaciones, los tiempos, la secuencia y dónde clickean el mouse se muestra en “heat maps”.



Habilidades espaciales

Una dificultad de las imágenes está relacionada con las habilidades mentales espaciales que requiere su interpretación, por ejemplo ya se mencionó la dificultad en comprender las secciones transversales. La habilidad espacial es la capacidad para generar, retener y manipular imágenes espaciales abstractas (Harle y Towns, 2011). Básicamente el pensamiento espacial requiere la habilidad de codificar, recordar, transformar y comparar los estímulos espaciales. El objetivo educativo es lograr que los estudiantes sean competentes en las habilidades espaciales en un dominio específico. Muchos

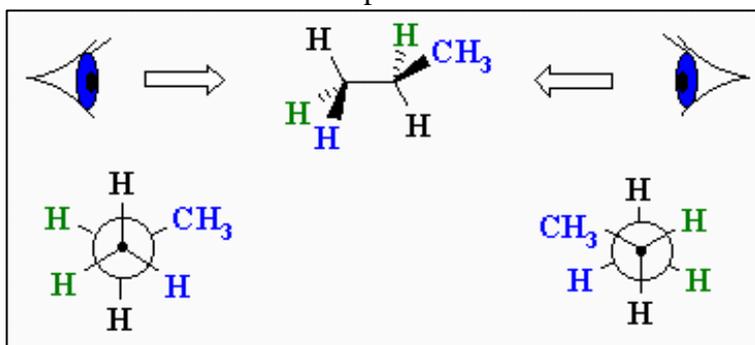
autores sostienen que es esencial enseñar y evaluar este tipo de conocimiento. En el caso de la química es clave poder conectar los arreglos espaciales de las partículas (átomos, moléculas, iones) con el conocimiento conceptual y simbólico. Existen investigaciones que muestran correlaciones positivas entre el rendimiento en asignaturas de química y el dominio de habilidades espaciales medidas a través de test estandarizados (Wu y Sha, 2004). Estas habilidades pueden ser enseñadas y mejoran con el entrenamiento.



La distribución espacial tetraédrica, la forma en que se repelen 4 pares de electrones de un átomo en el espacio, es esencial para comprender la naturaleza polar del agua. Para conocer la geometría molecular tetraédrica se debe imaginar un tetraedro regular, ésta es una figura espacial que parece simple (cuando uno ya la conoce) y sorprendente, que es necesario manipular para poder entenderla, no alcanza inicialmente con dibujos esquemáticos. Al igual que las animaciones o videos no reemplazan el trabajo experimental o salidas de campo, los programas de visualización de moléculas, como el Avogadro, no reemplazan el uso de modelos concretos, manipulables.



Algunas de sus dimensiones de la habilidad espacial son: visualización espacial, orientación espacial y rotación espacial sobre los cuales se pueden encontrar ejemplos en todas las ciencias naturales que requieren de su dominio. Vázquez y Biggio (2011) comprobaron que alumnos del CBC de arquitectura mejoraron en sus habilidades espaciales, como efecto de la enseñanza, entre el inicio y el final de un curso de Dibujo Técnico. Verificaron que el razonamiento espacial es un buen predictor del rendimiento académico. Encontraron diferencias entre sexos en los puntajes de test y en la forma en que aprovecharon la enseñanza de estos aspectos.



Tareas de rotaciones se emplean mucho en Test de aptitud espacial, como el presentado en por Sarton (1972), que junto con el test de aptitud numérica y el de aptitud verbal forman parte de mediciones del coeficiente intelectual. El test de aptitud espacial incluye muchos ítems que se resuelven determinando entre un conjunto de figuras cuál no es superponible por rotación.

No sólo se trata de pensar para entender una imagen, sino que emplear imágenes para desarrollar el pensamiento (este tipo de inteligencia). ¿Por qué no enseñar a pensar en nuestra materia?

Para finalizar

En definitiva se debe prestar especial atención a las dificultades intrínsecas de la imagen como representación externa. Abstracción, complejidad, naturaleza construida, cantidad de información que muestra, demanda cognitiva, integración de distinto niveles de organización o representación, relación realidad-modelo, relación estructura- función, demanda de habilidades espaciales. Las imágenes tienen una dificultad propia que tiene que ver con la con la calidad y cantidad de símbolos, signos, códigos, convenciones a procesar. Estos aspectos constituyen obstáculos para la representación interna del conocimiento contenido en las representaciones externas. Los alumnos pueden perderse en ese camino de la imagen a la conceptualización, mal interpretarlas y generar concepciones alternativas.

Seguramente algunos estudiantes conciben al dibujo esquemático como copia de la realidad, o la realidad en sí misma, no como una construcción humana realizada con un propósito específico. Lo mismo que ocurre con los modelos científicos, o con las visualizaciones de ellos; se los confunde con el sistema real que representan. Por ello la necesidad de recorrer el camino desde el dibujo esquemático al objeto fenómeno, explicitando las relaciones entre ellos. En la enseñanza de la química con fuerte peso en lo simbólico (ecuaciones químicas) suele confundirse realidad con modelo, se interpreta a la ecuación química como una expresión cuantitativa de la composición del sistema y no como una expresión de la interacción (Raviolo, 2006), se interpreta que, por ejemplo “los coeficientes estequiométricos son las cantidades presentes en el recipiente”.

En definitiva, para muchos temas los alumnos carecen de una imagen del sistema físico del que se está hablando, por ello es esencial presentar distintos tipos de imágenes. Pero las imágenes no son de por sí autoexplicativas, no se explican por sí solas, ni todos entendemos lo mismo (o “vemos” lo mismo de una imagen). Las imágenes tienen una dificultad propia, intrínseca, que está dada por:

- La combinación de entidades que están en distintos niveles de representación u organización
- El requerimiento de un conocimiento específico relacionado con el contenido
- La cantidad de información que muestran
- Las habilidades mentales espaciales que demanda
- El uso de analogías, al usar imágenes del análogo.

Dada complejidad propia o intrínseca de las imágenes ¿estamos ante una paradoja en la enseñanza de las ciencias?: “presentamos las imágenes y el simbolismo (concebidos de recursos reveladores y autosuficientes) para explicar a estudiantes un tema nuevo, cuando para comprender esas imágenes y simbolismo pareciera que hay que saber previamente el tema”.

Para mejorar el acceso y aprovechamiento de las imágenes disponibles en Internet (fotos, ilustraciones, dibujos esquemáticos, redes conceptuales, animaciones, simulaciones, videos) los docentes deben ser competentes en buscar, guardar, editar e incorporar estos recursos visuales en las actividades planificadas y presentaciones. Ante la cantidad de imágenes disponible se torna esencial el realizar un análisis crítico, creativo, fundamentado y pedagógico de los mismos.

Para concretar lo expresado en el párrafo anterior será necesario contar con un conocimiento didáctico del contenido que permita realizar la selección y análisis crítico de estos recursos, por ejemplo un conocimiento de: (a) las ideas básicas fundamentales de la temática, los temas relevantes y cuestiones de interés, (b) las dificultades de los alumnos, las concepciones alternativas, (c) las analogías adecuadas. Además contar con principios didácticos adecuados, fundamentados y reflexionados, como:

- propensión al diálogo, a hablar la imagen, a negociar significados
- emplear estrategias metacognitivas como la reflexión sobre la naturaleza de las representaciones externas que se emplean
- tratamiento didáctico de analogías y metáforas
- empleo adecuado y creativo de la imagen en la evaluación.

En resumen, se promueve un tratamiento didáctico, planificado y crítico de la imagen en la enseñanza, basado en el diálogo entre personas que construyen conjuntamente significados. Pasamos de “una imagen vale por mil palabras” a “vale una imagen con mil palabras”.

Referencias bibliográficas

- Ainsworth, S. y Loizou, A. (2003). The effects of self-explaining when learning with text or diagrams. *Cognitive Science*, 27, 669-681.
- Curtis, R.; Reigeluth, C. (1984). The use of analogies in written text. *Instructional Science*, 13, 99-117.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science, *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Gellon, G.; Feher, E.; Furman, M. y Golombek, D. (2005). *La ciencia en el aula*. Buenos Aires: Ed. Paidós.
- Gil Quilez, M. y Martínez Peña, M. (2005). El modelo Sol-Tierra-Luna en el lenguaje iconográfico de estudiantes de magisterio. *Enseñanza de las Ciencias*, 23, 2, 153-166.
- Harle, M y Towns, M. (2011). A review of spatial ability literature, its connection to chemistry, and implications for instruction. *Journal of Chemical Education*, 88, 351-360.
- Larkin, J. y Simon, H. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11, 65-99.
- Martinez, B. y Gil, M. (2001). The importance of images in astronomy education. *International Journal of Science Education*, 23(11), 1125-1135.
- Mathai, S. y Ramadas, J. (2009). Visual and visualization of human body systems. *International Journal of Science Education*, 31(3), 439-458.
- Matus Leites, L., Benarroch, A. y Perales, F. (2008). Las imágenes sobre el enlace químico usadas en los libros de texto de educación secundaria. Análisis desde los resultados de la investigación educativa. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), 153-176.

- Mayer, R. (1997). Multimedia learning: are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32(1), 1-19.
- Otero, M., Greca, I. Lang da Silveira, M. (2003). Imágenes visuales en el aula y rendimiento escolar en Física: un estudio comparativo, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2, 1-30.
- Perales, F. y Jiménez, J. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 368-386.
- Pérez, A., Suero, M., Pardo, P. y Gil, J. (2003). Cómo hacer comprensibles los dibujos que suelen ilustrar la formación de imágenes. *Revista de Educación en Ciencias*, 4(2), 70-73.
- Perkins, K. y otros (2006). PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. *The Physics Teacher*, 44, 18-23.
- Postigo, Y. y Pozo, J. (2000). Cuando una gráfica vale más que 1.000 datos: la interpretación de gráficas por alumnos adolescentes. *Infancia y Aprendizaje*, 90, 89-110.
- Raviolo, A. (2006). Las imágenes en el aprendizaje y en la enseñanza del equilibrio químico, *Educación Química*, 17(nº extraordinario), 300-307.
- Raviolo, A. (2009). Modelos, analogías y metáforas en la enseñanza de la química. *Educación Química*, 20(1), 55-60.
- Raviolo, A. (2010). Recursos didácticos visuales en las clases de ciencias. *Educación en la Química*, 16(1), 9-18.
- Raviolo, A. y Ramírez, P. (2009). Analogías y metáforas en la enseñanza de las ciencias. *Novedades Educativas*, 219, 58-59.
- Raviolo, A., Ramírez, P. y López, A. (2010). Enseñanza y aprendizaje del concepto de modelo científico a través de analogías. Raviolo, Ramírez y López. *Revista Eureka de Divulgación y Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), 581-612.
- Raviolo, A., Aguilar, A. y Ramírez, P. (2012). De la pantalla al papel, de la imagen a la palabra: algunas reflexiones sobre el empleo de videos y animaciones en la clase de ciencias. *Novedades Educativas*, Noviembre, 2012.
- Raviolo, A. y Lerzo, G. (2013). Analogías en la enseñanza de la estequiometría: revisión de páginas web. Presentado a la *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, agosto 2013.
- Tang, H. y Pienta, N. (2012). Eye tracking study of complexity in gas law problems. *Journal of Chemical Education*, 89, 988-994.
- Vázquez, S. y Biggio, M. (2011). Razonamiento espacial y rendimiento académico. *Interdisciplinaria*, 28(1), 145-158.