

USO (Y ABUSO) DE LA IMAGEN EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

PERALES PALACIOS, F. JAVIER

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación. Campus Universitario de Cartuja. Universidad de Granada. 18071 Granada
fperales@ugr.es

Resumen. La ciencia y su enseñanza han utilizado tradicionalmente las representaciones gráficas para diversos propósitos y con diferente grado de intensidad, aunque ha prevaído el componente verbal (escrito u oral), formado por conceptos, relaciones entre ellos y sus representaciones (símbolos y lenguaje lógico-matemático). Por otro lado, la sociedad actual está viviendo una fulgurante sustitución de los medios clásicos de transmisión del conocimiento (libros, revistas, etc.) por otros esencialmente visuales (televisión, internet, etc.), lo que afecta también al papel de las instituciones educativas como monopolios del saber popular. La enseñanza de la ciencia no ha quedado ajena a tal situación. En este artículo pretendemos mostrar la influencia y las posibilidades didácticas de la imagen en sus distintos formatos sobre la educación científica formal e informal. Para ello, tras una revisión teórica, mostraremos algunas ejemplificaciones de tal incidencia, justificando la necesidad de su integración crítica en la educación formal.

Palabras clave. Imagen, televisión, libro de texto, didáctica de las ciencias experimentales.

Use (and abuse) of image in science education

Summary. Science and its teaching have traditionally used graphic representations with different purposes and with different degrees of intensity, although what has prevailed is verbal representation (writing or oral), consisting of concepts, relationships among them and their representations (symbols and logic-mathematic language). On the other hand, present society is living a quick substitution of knowledge transmission classic media (books, reviews...) by other essentially visual (tv, internet...), which also influences on the role of educational institutions as monopolies of popular knowledge. Science Education has not been outside this situation. In this paper we intend to show the influence and didactic possibilities of image and its different formats on Formal and Informal Science Education. For it, after a theoretical revision, we will show some examples of such incidence, justifying the need of the critical integration of image in Formal Education.

Keywords. Image, television, textbook, science education.

INTRODUCCIÓN

Si preguntáramos a cualquier profesor de ciencias que pretende conseguir de sus alumnos, estamos seguros de que la respuesta mayoritaria sería la de «que aprendan ciencias». Si continuáramos indagando con un segundo interrogante ¿pero qué significa aprender ciencias?, podríamos suponer que incluirían en alguna medida «aprender el lenguaje científico». Si siguiéramos inquiriéndole en esa vía abierta (aun a riesgo de que nos des-

pidiese con cajas destempladas) con otra cuestión como ¿Qué entiende por lenguaje científico?, ¿podríamos afirmar ahora que incluiría el lenguaje de las imágenes? Hablaría del significado de los conceptos, de la interpretación de las leyes o de un conocimiento del lenguaje lógico-matemático; ¿pero también lo haría con el reconocimiento de sus códigos simbólicos, el análisis crítico de las ilustraciones, la interpretación de gráficas, etc.?

Como un avezado entrevistador, sería hora de cambiar de tercio con una pregunta como ¿De qué medios se valen los estudiantes para aprender ciencias?, y su respuesta podría girar en torno a los libros de texto o a las explicaciones del profesor, pero ¿nada más? A pesar de que en dicha respuesta no contemplara canales como la televisión, internet, revistas, periódicos, radio... podríamos rogarle que nos indicara el libro que usan sus alumnos o que nos permitiera acudir a algunas de sus clases. Al abrir el libro seguramente lo primero que nos llamaría la atención sería el colorido y la superficie ocupada por las ilustraciones. Al asistir a sus clases veríamos dibujar en la pizarra mapas conceptuales, figuras con aparente realismo, construcciones geométricas, etc. El diligente entrevistador se reuniría nuevamente con el profesor en un intento de contrastar con él sus intuiciones, interrogándole acerca de si considera adecuadas las ilustraciones que invaden el libro o si alguna vez le enseñaron cómo emplearlas en sus clases o cómo construir sus propias imágenes. Ante tanto aprieto, lo único que conseguiría sería una cortés despedida del sufrido profesor con alguna excusa poco creíble.

Esta historia ficticia pero probable, ¿se diferenciaría mucho del resultado que obtendría el entrevistador si planteara las mismas cuestiones a un investigador experto en didáctica de las ciencias? Quizás cambiaría en el dominio de la terminología propia de este campo para argumentar sus respuestas, pero probablemente poco en el fondo de las mismas.

¿A dónde queremos llegar con esta introducción tan poco ortodoxa? Simplemente deseamos que sirva de llamada de atención a los educadores e investigadores en ciencias acerca del escaso interés que prestamos a un vehículo de información crecientemente dominante entre nuestros jóvenes («ciberestudiantes» frente a los «libroestudiantes», Carney y Levin, 2002), no ya sólo en el ámbito de la educación formal (libro de texto o pizarra) sino, y sobre todo, en el de la informal (televisión, prensa, internet o publicidad). Tampoco el ámbito universitario se ve libre de estas afirmaciones, a través de los nuevos formatos que vamos dando a nuestras clases, sustituyendo la pizarra por transparencias o presentaciones de ordenador con multiplicidad de ilustraciones, vídeos, etc.; lo que también se ha extendido de forma generalizada a los congresos de docencia o investigación.

Paradójicamente, este peso creciente de las imágenes presente en los «mass media» se viene produciendo en paralelo a la pérdida de referentes directos sobre los objetos y fenómenos del entorno (Del Carmen, 2001), cada vez más patente en los centros educativos para los niveles obligatorios, quienes, por diversas causas, van prescindiendo de experiencias prácticas en su docencia. No obstante, hemos de tener presente que a veces las imágenes constituyen el único referente accesible para el estudiante (p.e., las ecografías, los planetarios, etc.) y que en otros ámbitos disciplinares representan un elemento imprescindible, tales como a la historia del arte (fotografías), la geografía (mapas) o el propio dibujo, pero también entre las mismas ciencias y sus afines, como las matemáticas (geometría), la biología (observaciones microscópicas), la geología (mapas) o la medicina (radiografías).

Ante este panorama, cabría preguntarse si nos hemos preocupado verdaderamente por dar respuesta desde el contexto de la enseñanza (p.e., diseño y utilización de imágenes) y del aprendizaje (p.e., condiciones necesarias para su interpretación).

¿Cómo pretendemos remediar en este artículo las carencias anteriormente denunciadas? Es evidente que no resulta fácil en tan pocas páginas ni pretendemos convertirnos en salvadores didácticos. Simplemente intentaremos alcanzar algunos de los siguientes objetivos:

- Establecer un sistema de clasificación de los diferentes usos de la imagen en la educación científica.
- Sintetizar las aportaciones teóricas en este campo desde distintas disciplinas.
- Especificar criterios fundamentados de análisis y valoración de la imagen en sus distintos formatos de uso.
- Ejemplificar investigaciones realizadas en esta línea de trabajo con una perspectiva didáctica aplicada.
- Establecer algunas conclusiones y perspectivas de futuras investigaciones.

UN PRIMER INTENTO DE CLARIFICACIÓN

Deberíamos comenzar intentando clarificar el lenguaje verbal que vamos a utilizar. Nos referiremos con frecuencia a dos términos que nos interesan especialmente para los propósitos de este artículo: imagen e ilustración. Entendemos por ambas¹:

- *Imagen*: representación de seres, objetos o fenómenos, ya sea con un carácter gráfico (en soporte papel o audiovisual, fundamentalmente) o mental (a partir de un proceso de abstracción más o menos complejo).
- *Ilustración*: se trata de una imagen más específica, de carácter exclusivamente gráfico, y que acompaña a los textos escritos con la intención de complementar la información que suministran.

Dado que nos preocupa el papel de la imagen en su relación con la educación científica, estableceremos un primer nivel de jerarquía que incluirá ambos términos (Fig. 1). Centrándonos en la imagen, la clasificaremos, según un criterio de temporalidad, en estática o dinámica; la primera podemos agruparla además según sirva a un propósito informativo (realistas) o lúdico (de ficción); la segunda, en el formato televisivo o en otros. En cuanto al término de *educación científica*, es común hablar de la informal y de la formal (a veces se incluye en aquella la no-formal, que contempla la que tiene lugar en centros de ciencia extraacadémicos, tales como museos, aulas de naturaleza, etc.). La educación informal utiliza habitualmente los canales recogidos en la clasificación de la imagen mencionada. Para la educación formal nos fijaremos en las imágenes de los libros de texto, dado el

uso intensivo que se produce de los mismos al menos en la educación obligatoria y en actividades de aula como la resolución de problemas. Finalmente, la imagen constituye asimismo parte de los modos de representación habituales del conocimiento científico, junto con el formato verbal y matemático-simbólico, tal como mostramos en el ejemplo de la figura 2.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Intentar entender el papel desempeñado por la imagen en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias resulta harto complejo y ha de apoyarse en referentes procedentes de campos de conocimiento dispersos. Los mencionaremos como respuestas a cuestiones esenciales, habiendo excluido la revisión de disciplinas artísticas debido a que su propia naturaleza dificulta la extrapolación al ámbito de este trabajo:

- ¿Qué signos emplea el lenguaje, qué reglas los rigen, qué significado poseen? => *Semiótica*.
- ¿Cómo se procesan las imágenes? => *Psicología*.
- ¿Qué imágenes utilizan la sociedad, los profesores, los alumnos o los libros de texto en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias? ¿Cómo pueden ser valoradas y mejoradas? ¿Cómo contribuyen a la representación del conocimiento científico? => *Didáctica de las ciencias experimentales*.

Comentaremos cada uno de esos apartados, deteniéndonos en los que más nos afectan para los propósitos de este artículo.

Semiótica

La semiótica es entendida como la «ciencia general de los signos lingüísticos»; engloba la semántica y la sintáctica. En cualquier caso, el denominador común viene a ser el interés por el uso de los signos y su significado. Desde un punto de vista didáctico, como señala Shapiro (1998, p. 609), «los estudios están basados en la suposición de que la cultura proporciona una serie de signos, símbolos y reglas sobre la interacción que son usados, conscientemente o no, para crear y «leer» el entorno de aprendizaje. Por consiguiente, la semiótica ensancha el término *entorno de aprendizaje* para incluir estos signos, símbolos y reglas establecidas como poderosas características que influyen sobre el aprendizaje y la enseñanza [...].

Sería conveniente recordar en primera instancia las diferencias esenciales entre el lenguaje verbal y el visual. Estas diferencias pueden nuclearse en torno a la semántica y la sintaxis. En el lenguaje verbal, las relaciones entre los signos (palabras o sonidos) y su significado son arbitrarias; en cuanto a su sintaxis, se compone de reglas aproximadamente fijas. Para el lenguaje visual, el significado se suele establecer por analogía con elementos reales conocidos, aunque no siempre sucede así, como es el caso de las representaciones abstractas (p.e., todo el arte no figurativo); por lo que respecta a su sintaxis, es mucho más flexible (a veces, casi inexistente) que en el lenguaje verbal. Además el lenguaje visual permite una relación simultánea o secuencial entre sus elementos (p.e., en una fotografía o en una película, respectivamente) (Borrego, 2000). Un lenguaje mixto es el llamado «lenguaje de los signos» (utilizado para las personas sordas), ya que utiliza como signos elementos visuales dinámicos que sustituyen los sonidos.

Figura 1
Mapa conceptual representativo de las relaciones entre la imagen y la educación científica.

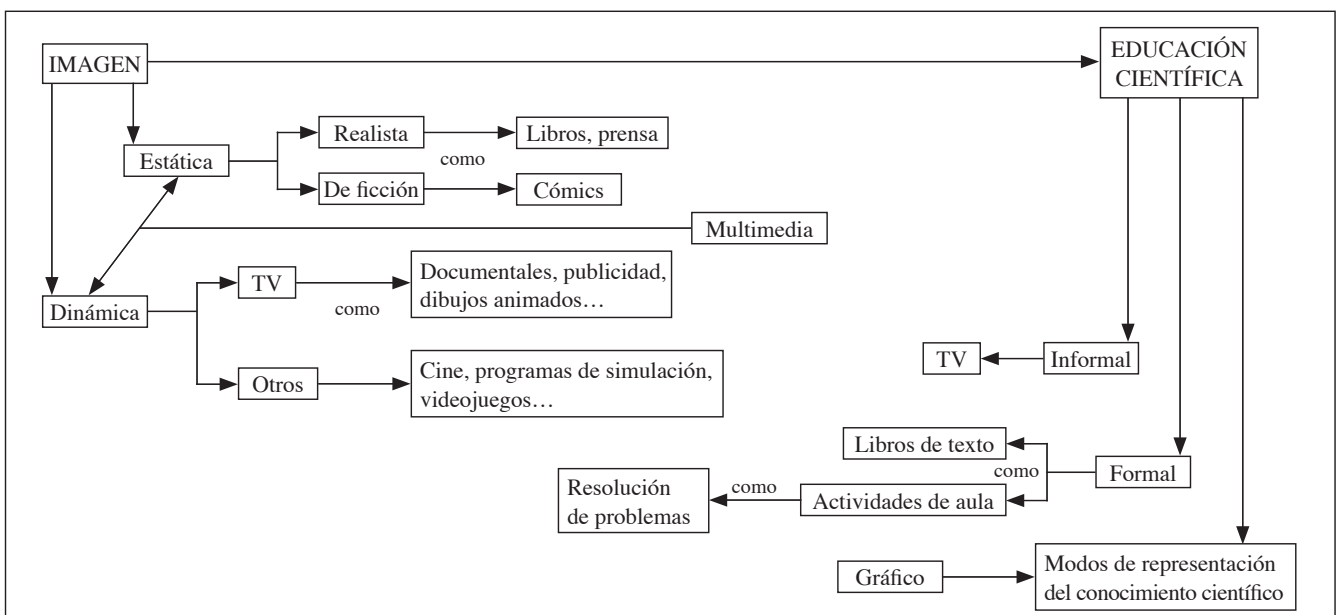
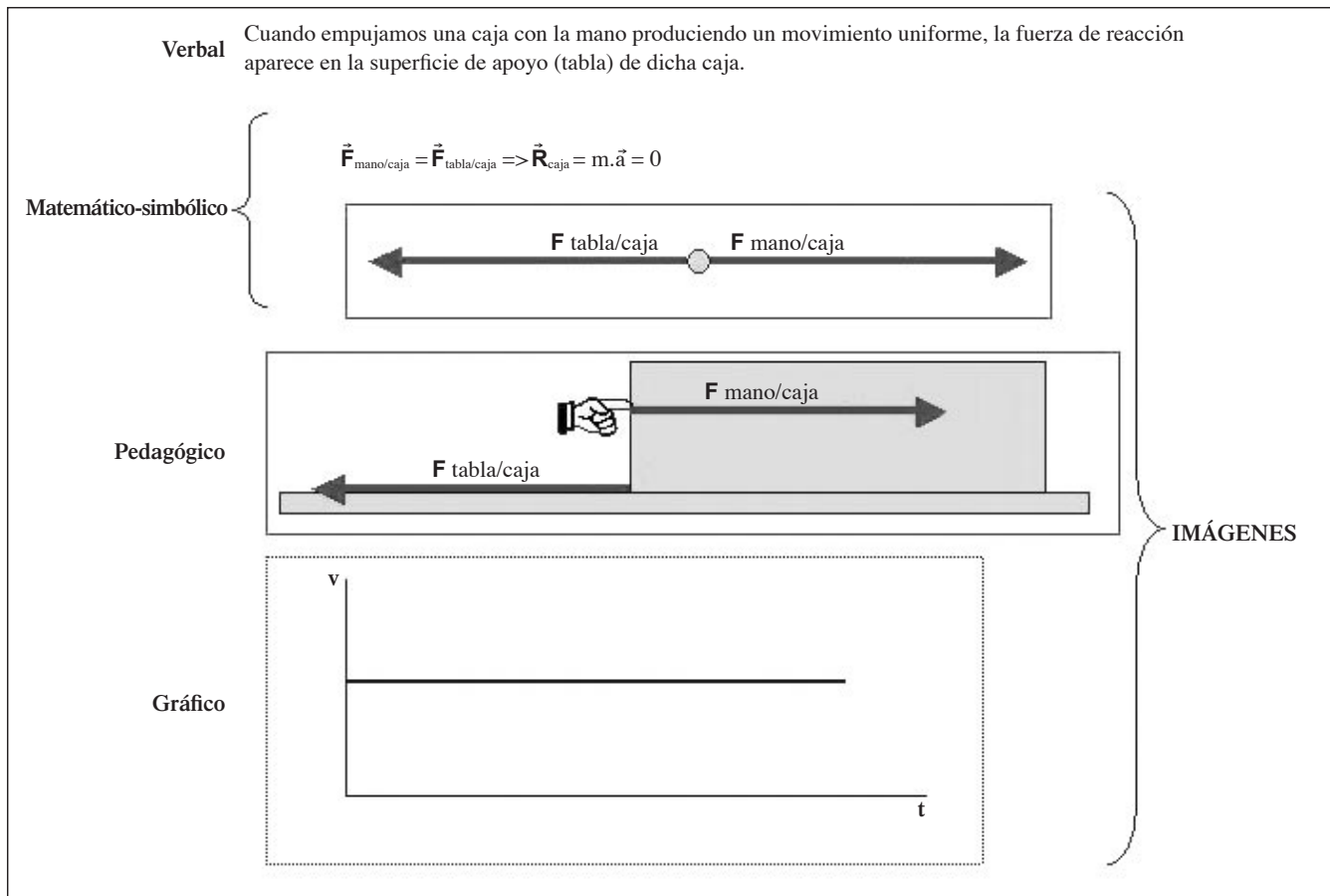


Figura 2
Modos de representación del conocimiento científico.



Por tanto, para que los estudiantes comprendan las ilustraciones que aparecen en los libros de texto de ciencias y puedan operar sobre ellas, por ejemplo, en la resolución de problemas, se precisa un conocimiento de las reglas sintácticas que los autores de tales libros –o el profesor, en el caso de que sea éste el que produzca dichas ilustraciones– utilizan implícitamente en su elaboración. Esto es algo que ocurre en otros ámbitos del conocimiento cultural humano, tales como el teatro o la pintura y su enseñanza comprensiva.

Resulta curioso cómo el creciente uso del lenguaje icónico que destacábamos en nuestra introducción nos retrotrae a las primeras manifestaciones del lenguaje humano, exclusivamente pictográfico (pinturas rupestres como las de las cuevas de Altamira), en que los símbolos se asociaban a seres vivos o inanimados; o mixto, caso del lenguaje jeroglífico (del Egipto antiguo, basado en ideogramas, representaciones estilizadas de los objetos representados), en que los signos pictóricos ayudaban a fijar el significado de la palabra a la que acompañaban. Por otra parte, el estudio del lenguaje verbal mediante la disciplina denominada lingüística no ha tenido parangón para el visual, atrincherado en parcelas artísticas (bellas artes) o técnicas (dibujo técnico o geometría descriptiva), no generalizadas como áreas centrales del ámbito educativo ni del cotidiano. En

definitiva, podemos hablar de una insuficiente alfabetización visual de las sociedades modernas, carentes de una «piedra Roseta» que haga inteligibles muchas de las imágenes frecuentes y sus códigos visuales.

De cualquier modo, en los últimos años las corrientes semióticas basadas en teorías lingüísticas y antropológicas han incorporado como textos productos audiovisuales tales como programas de televisión, películas, folletos publicitarios, etc., abordando el análisis de su contenido en aras de sacar a la luz sus contenidos implícitos (Borrego, 2000).

A este respecto y, sobre todo en el campo de los medios de comunicación de masas, se desprende que no siempre la comunicación se entiende como interacción entre el emisor y el receptor, sino que, bajo el paraguas de la «información» (política, publicitaria, etc.), suele ocultarse un relación de poder del primero sobre el segundo, fin para el que suele utilizarse la imagen con códigos implícitos y unidireccionales, ocultos para la mayoría de los ciudadanos y que les refuerzan, consiguientemente, actitudes pasivas o, lo que es peor, el seguidismo y el adoctrinamiento.

La semiótica de la imagen establece que toda lectura icónica exige un código de carácter específico que, aunque

figurativo, no es inocente; la naturalidad no existe en este ámbito. Pero, dado que los códigos utilizados para la elaboración de la imagen no siempre obedecen a reglas estrictas, el alumno y el educador pueden encontrar un material propicio para su investigación en el aula.

En el caso de la imagen, como afirma Martín (1987) al referirse a las investigaciones de índole pedagógica, nos enfrentamos a dificultades de orden técnico (estudios demasiado especializados para poseer una aplicación en el ámbito de la educación obligatoria) y de orden práctico (no reproducibles). Este mismo autor describe en su obra los precedentes existentes en cuatro campos de actuación: el de la lingüística, el de la prensa, el de la psicología y el de la patología del equívoco.

Psicología

Dados los propósitos de este artículo, la fundamentación psicológica debe poseer mayor peso. A este respecto, resulta útil subdividirla en tres apartados:

- ¿Cómo se procesan las imágenes?
- ¿Cómo contribuyen a la formación de modelos mentales?
- ¿Cómo pueden ayudar a una mejor comprensión del contenido que representan?

Resulta evidente que las dos primeras cuestiones poseen una vertiente más puramente psicológica, en cuanto tratan aspectos relacionados con el procesamiento de la información; y el tercero resulta más didáctico, en la medida en que pretende establecer las condiciones que contribuyen a rentabilizar el uso de las imágenes.

Respecto al *procesamiento de las imágenes*, cabe decir que existen diversos modelos que tratan de explicar los

mecanismos que dicho procesamiento conlleva. Describiremos dos de ellos de modo sucinto.

- El modelo de la doble codificación de Paivio (1971, 1986) intenta explicar el procesamiento de las imágenes mediante una doble vía, una no verbal para la primeras y otra verbal para el texto (oral o escrito), aunque no independientes. Como punto de partida considera dos tipos de representación, una física y otra mental. La primera admite a su vez una representación lingüística y otra icónica que tendrían, respectivamente, un carácter arbitrario-atómico y analógico-continuo. La representación mental puede establecerse mediante tres niveles: *a)* las representaciones observables, que se pueden expresar directamente a través del lenguaje o la imaginación; *b)* las estructuras y procesos mentales que las sustentan; y *c)* los modelos teóricos que tratan de describir los mecanismos que los rigen. La ayuda de ciertas ilustraciones a la memorización de textos se explicaría en función del uso conjunto de ambos canales en el procesamiento de la información, que permite su interconexión en la memoria de trabajo (Fig. 3).

- Una visión más ecléctica es expuesta por Schnotz (2002), que defiende un modelo integrado de procesamiento del texto y de la imagen, y que establece el de esta última en relación con los modelos propuestos para la comprensión de textos escritos. De hecho, habla de que la comprensión de una imagen supone: *a)* una representación de su estructura superficial, esto es, la percepción visual de la misma; *b)* un modelo mental, es decir, el establecimiento de una correspondencia entre sus características estructurales y las referencias que posee el individuo previamente; *c)* una representación proposicional o, lo que es lo mismo, una conversión del modelo mental en términos de proposiciones lingüísticas; *d)* un nivel comunicativo, esto es, el contexto en el que tiene lugar el procesamiento de la imagen; y *e)* una representación de nivel general, es decir, que engloba el tipo de imagen de que se trata y las funciones que desempeña (Fig. 4).

Figura 3

Representación esquemática de la estructura de los sistemas simbólicos verbal y no verbal, mostrando las unidades de representación y sus referencias (entre sistemas) y asociaciones (dentro de los sistemas), interconexiones y las conexiones entre las entradas y la salidas. Los *logogens* se refieren a las palabras abstractas y los *imagens* a las imágenes sin nombre (Jiménez, 1998, p. 45).

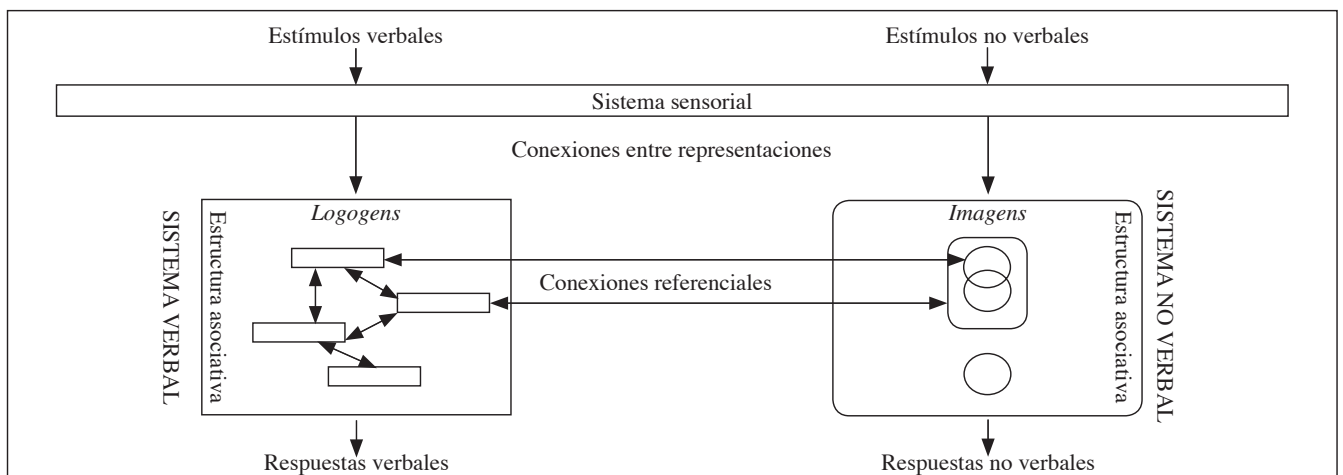
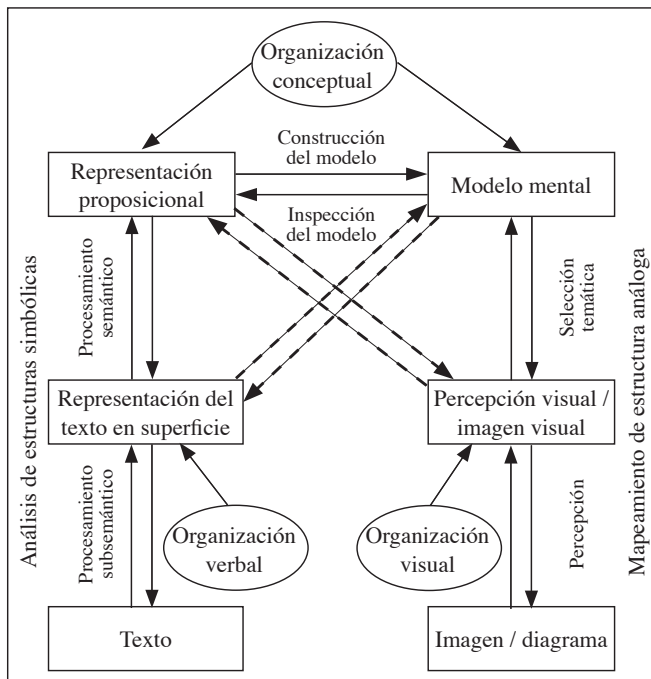


Figura 4

Ilustración esquemática de un modelo integrado de comprensión de texto y de imagen (Schnotz, 2002).



Si nos detenemos en el papel de las imágenes en la formación de los *modelos mentales*, puede decirse que un modelo mental constituye una representación interna de un objeto o fenómeno con los que posee unas características internas comunes, es decir, una analogía funcional (Johnson-Laird, 1983). Su generación puede tener lugar a través de una información visual, pero también a través de otros sentidos. Dado su carácter abstracto, contiene menos detalles que la imagen original, pero más información, puesto que interviene el conocimiento previo del lector.

Nos referiremos ahora a la tercera cuestión que nos planteábamos anteriormente, esto es, *¿cómo pueden ayudar las imágenes a una mejor comprensión del contenido?* El interés de la psicología, especialmente en su vertiente aplicada a la educación, por el uso de la imagen se ha visto acrecentado durante los últimos años. Así, por ejemplo, las revistas *Educational Psychology Review* y *Learning and Instruction* han dedicado sendos monográficos en los últimos años (vol. 14, núm. 1, 2002, la primera; vol. 13, núm. 2, 2003, la segunda) a abordar esta temática desde diferentes perspectivas. La teoría de la doble codificación de Paivio sigue siendo el referente más citado donde enmarcar los resultados de las investigaciones en este ámbito. Resumiremos a continuación las contribuciones del primer monográfico, que posee un carácter más genérico. En ambos escriben los investigadores que más han contribuido durante las últimas décadas a la clarificación del papel de la imagen en la comprensión, es decir, Mayer y Schnotz.

– En el editorial de la primera revista (Guest Editorial, 2002) se resalta la importancia de las imágenes para el

procesamiento de la información de los aprendices, y se apunta el potencial que poseen incluso los textos gráficos organizados espacialmente, tales como los mapas conceptuales o los organizadores gráficos. Asimismo denuncia la escasa utilización que se hace de este potencial en los centros de enseñanza.

– Carney y Levin (2002), centrándose en las ilustraciones que acompañan los textos, retoman un «metaanálisis» (Levin et al., 1987), donde, a partir de la clasificación de diversas funciones de las ilustraciones (decorativa, representativa, organizativa, interpretativa y transformacional) evalúan su incidencia en el aprendizaje de los textos (Levin, 1981). Los resultados mostraron un efecto nulo para la función decorativa y uno creciente en el siguiente orden: representativa, organizativa, interpretativa y transformacional. Otra investigación previa (Levin y Mayer, 1993) aludía a las variables que condicionaban la eficiencia pictórica: los resultados esperados (p.e., comprensión, memoria, transferencia), la naturaleza de las ilustraciones (p.e., deben estar relacionadas con el contenido del texto), la naturaleza del texto (p.e., cuanto más difícil de comprender, más ayuda la ilustración) y las características del aprendiz (p.e., se benefician más los que poseen peor base de conocimientos). También hay situaciones en las que las ilustraciones parecen fallar; por ejemplo, Weidenmann (1989) habla del peligro de que las ilustraciones sean vistas como algo fácil y, por tanto, de que se observen de forma superficial. Así, Peek (1993) recomienda que se enseñe a los niños a leer imágenes a la par que la comprensión lectora y sugiere que se proporcionen instrucciones (p.e., que denominen características de las ilustraciones) o indicios para favorecer la eficacia de las ilustraciones.

Los autores actualizan la revisión bibliográfica anterior tomando nuevamente como referente el tipo de función desempeñada por las ilustraciones. Como novedad, algunos de tales estudios incorporan formatos de imágenes y texto a través del ordenador, lo que les proporciona más versatilidad y posibilidades de relación. También hay que resaltar que diversos estudios abordan el aprendizaje de contenidos técnico-científicos (Mayer y Gallini, 1990; Benson, 1995; Weidenmann et al., 1999).

Concluyen estableciendo una lista de principios deseables para el buen uso de las ilustraciones basado en los hallazgos de la investigación antiguos y actuales.

– Mayer y Moreno (2002) abordan el aprendizaje mediante animación multimedia. Éste tiene lugar cuando al aprendiz se le presentan simultáneamente textos escritos (p.e., narraciones sobre la pantalla) y pictóricos (estáticos, como fotos o ilustraciones, y dinámicos, como vídeos o simulaciones). También se puede clasificar en función de la modalidad sensorial (visual o auditiva), representacional (pictórica o verbal) o de presentación (mediante pantalla u oralmente). Ante la pregunta de si mejora o no el aprendizaje, los autores se refieren a que el consenso está en que depende de cómo se use. En cuanto a las teorías que pretenden explicar cómo se produce el aprendizaje, exponen dos de ellas: la teoría de presentación de la información del aprendizaje multimedia y la cognitiva. A través de la

primera sólo cabría esperar una mejora del aprendizaje para los alumnos que prefieren una forma de presentación visual sobre la verbal. La segunda es más sofisticada y parte de tres supuestos: *a*) la existencia de un doble canal de procesamiento de la información, visual u verbal (teoría dual de Paivio); *b*) la capacidad de procesamiento limitada para cada canal; y *c*) los principios del aprendizaje significativo (selección de la información relevante, organización coherente de la misma e integración con el conocimiento existente). Una de las consecuencias de esta teoría cognitiva es que la probabilidad del aprendizaje es mayor cuando el aprendiz dispone de información verbal y visual simultáneas en su memoria de trabajo (Fig. 5). Las investigaciones llevadas a cabo por estos investigadores desembocaron en la formulación de una serie de principios para favorecer el aprendizaje multimedia.

– Schnotz (2002) insiste en las condiciones bajo las cuales el aprendizaje mediante ilustraciones y textos puede ser mejorado, aunque desde una perspectiva más psicológica. Para ello parte de la consideración del texto escrito y del texto pictórico como sistemas de representación externa del conocimiento (por contraposición a las representaciones mentales, de naturaleza interna), aunque con diferencias sustanciales, en especial en relación con la analogía respecto a lo representado por ellas.

Las implicaciones que establece este autor para mejorar la eficacia del aprendizaje a través del texto «viso espacial» las agrupa en torno a dos apartados: *a*) el diseño instructivo; y *b*) las estrategias de procesamiento de la información por parte del receptor de la información, debiendo ambos estar adecuadamente relacionados.

Concluye con algunas cuestiones que, a su juicio, quedan pendientes de dilucidar, tales como:

- 1) El aprendizaje a partir de la información verbal y pictórica posee beneficios para el aprendizaje pero también costes cognitivos.
- 2) Está influenciado por las preferencias representacionales y los estilos cognitivos de los individuos, aunque no se conoce bien el sentido de esa influencia.
- 3) El creciente uso de los formatos animados mediante ordenador no parece aportar una mejora significativa en el aprendizaje.

4) Hay incertidumbre respecto a si el uso de las nuevas tecnologías para el aprendizaje implicará alguna novedad para las estrategias de procesamiento cognitivo habituales y para las actitudes de los aprendices futuros.

5) A este respecto, los factores motivacionales y afectivos con relación al medio de transmisión de la información pueden jugar un papel relevante, dado su formato cada vez más atractivo.

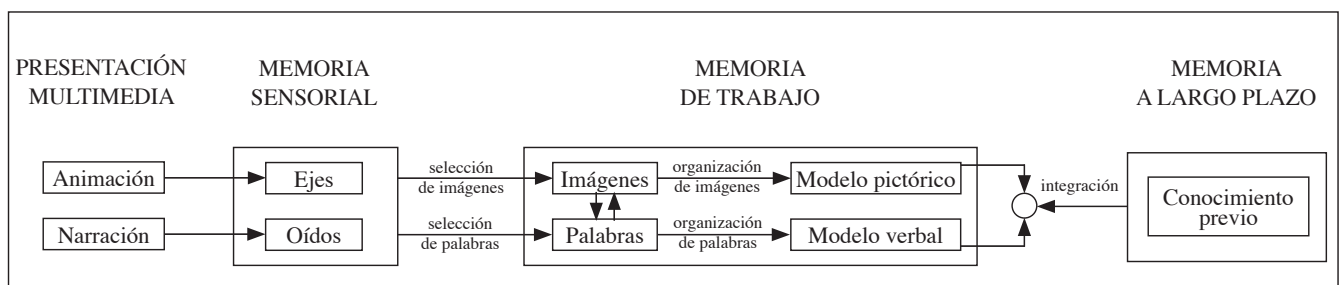
– Nos referiremos, por último, al artículo de Shah y Hoeffner (2002), que está dedicado en exclusiva a un tipo de imagen muy utilizado en la ciencia, como es de las gráficas. Éstas constituyen una representación de la dependencia entre variables a través de funciones matemáticas. Como principal virtud poseen la de transformar una información cuantitativa (p.e., una tabla de datos) en otra más fácilmente comprensible, aunque también pueden inducir a errores cuando carecen de algunos elementos informativos. Los autores abordan este trabajo planteándose dos objetivos: el primero revisar la literatura en torno a cómo interpretan las gráficas los lectores y los factores que influyen en ello; y el segundo discutir las implicaciones que ello conlleva para el diseño de gráficas destinadas a los estudiantes y para la enseñanza de las habilidades básicas que requiere su comprensión.

a) En el primer caso, identifican tres factores principales: las características de la representación visual (tipo de gráfica, color, etc.); el conocimiento sobre gráficas disponible por el lector; y el contenido al que se refiere la gráfica (p.e., edad *versus* peso).

b) En cuanto al diseño de gráficas, los autores proponen los siguientes principios:

- 1) Elegir el formato de gráfica en función del objetivo de la comunicación (p.e., gráficas de línea para tendencias).
- 2) Utilizar formatos múltiples para comunicar los mismos datos.
- 3) Utilizar las «mejores» dimensiones visuales para expresar información métrica siempre que sea posible.
- 4) Usar la animación con precaución.
- 5) Reducir las demandas de la memoria de trabajo, esto es, la cantidad de información contenida en la gráfica.

Figura 5
Una teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (Mayer y Moreno, 2002).



- 6) Elegir los colores cuidadosamente.
- 7) La «tercera» dimensión es adecuada a menos que se necesite información métrica precisa.
- 8) Elegir cuidadosamente las proporciones y la densidad de datos (tamaño de la gráfica).
- 9) Hacer consistentes las gráficas y el texto (guiar la interpretación de la gráfica a través del texto).

Los autores finalizan con un balance de algunas cuestiones pendientes de investigar en este campo.

Como síntesis de las aportaciones anteriores hemos elaborado la tabla 1 donde se recogen las recomendaciones de uso de las imágenes (solas o en conjunción con narraciones orales o con el texto escrito), tanto desde la perspectiva de su diseño como de su tratamiento por parte de los receptores (p.e., estudiantes) con el objetivo de mejorar su aprendizaje. Hemos excluido en aquella las gráficas por su particularidad.

Tabla 1
Condiciones que pueden favorecer la eficiencia didáctica de las imágenes.

| DISEÑO | COMPRENSIÓN |
|--|---|
| Prescindir de las imágenes con una función decorativa. Tampoco ayudan las muy simples, ya que pueden distraer la atención del texto escrito. | Las imágenes no deben analizarse superficialmente. |
| Las imágenes mejoran su rentabilidad cuanto más compleja es su capacidad de representar el contenido con que se relaciona (función representativa, organizativa, interpretativa y transformacional). | Los estudiantes noveles se benefician más de las imágenes que los expertos |
| Las imágenes ayudan más en los textos complejos que en los simples. En estos últimos, cuando son altamente concretos y atractivos favorecen fácilmente la imaginación visual y, por consiguiente, es improbable que la inclusión de imágenes produzca beneficios cognitivos adicionales. | Los niños deben ser alfabetizados visualmente igual que lo son con el lenguaje escrito. Ello implica la adquisición de habilidades básicas y las estrategias de procesamiento de la información adecuadas. |
| Las imágenes y el texto deben conformar un cuerpo de información coherente. | Para producir los máximos beneficios de las imágenes del mismo modo, por lo que se deberían tener en cuenta sus diferentes estilos de aprendizaje. |
| El uso nemotécnico de las imágenes puede ayudar al aprendizaje del texto. | No todos los estudiantes procesan las imágenes del mismo modo, por lo que se deberían tener en cuenta sus diferentes estilos de aprendizaje. |
| Las imágenes deben elegirse de acuerdo con la función que se desee que desempeñen a la luz de los resultados de aprendizaje deseados. | Igualmente deben tenerse en cuenta las preferencias cognitivas de los estudiantes (p.e. presentación visual sobre la verbal). |
| Las imágenes no pueden constituirse en el referente exclusivo para el conocimiento y manipulación de los objetos y fenómenos reales. | El procesamiento de la información textual y pictórica requiere de la activación del conocimiento previo relacionado, por lo que debe ser facilitado haciendo uso de símbolos, colores o iconos, más que mediante leyendas adicionales, |
| En el caso de <i>imágenes multimedia</i> , son más eficaces las que integran el texto (información verbal y visual simultáneas) que aquellas en las que imagen y texto aparecen divididos o las que proporcionan sólo el texto. | |
| El orden de presentación de la información debería ser primero la pictórica y después la textual, antes que el inverso o la simultaneidad de ambos formatos. | |
| Asimismo son más eficaces aquellas en las que el texto y la animación están próximos en la pantalla frente a cuando se presentan distantes. | |
| También lo son aquellas en las que narraciones, sonidos y vídeos extraños son excluidos frente a cuando son incluidos. | |
| La animación y la narración conjuntas favorecen el aprendizaje frente a la animación y el texto sobreescrito en la pantalla. | |
| Asimismo resultan más eficientes cuando la narración y el texto sobreescrito en la pantalla poseen un estilo conversacional más que formal. | |

Resulta destacable que algunas de las propuestas anteriores coincidan con las que se hacen desde ámbitos artísticos como la fotografía para evaluar las imágenes (González, 2004), tales como: *a)* información antes que belleza; y *b)* complejidad supeditada a que facilite la comprensión del mensaje.

Didáctica de las ciencias experimentales

Dado el ámbito de este artículo, excluirémos el tratamiento de las imágenes por parte de la pedagogía, para centrarnos directamente en las aportaciones extraídas de la didáctica de las ciencias experimentales.

Comenzaremos refiriéndonos al contexto de la epistemología de la ciencia representada por los trabajos de Mario Bunge (1981, 1982, 1983). Podemos resaltar a este respecto (Jiménez y Perales, 2002a) el papel jugado por las representaciones gráficas en el contexto de la modelización que la comunidad científica utiliza para facilitar la descripción, la explicación y la predicción de los fenómenos naturales. Para ello nos hemos apoyado básicamente en las ideas que aporta el filósofo Mario Bunge. Especialmente ilustrativa para estos propósitos resulta la vertiente explicativa de los modelos y, en especial, la denominada explicación interpretativa. A ésta pueden servir de valiosa ayuda las representaciones pictóricas, con tal de que definan claramente las relaciones entre la realidad que se pretende explicar, los modelos conceptuales elaborados al efecto y los símbolos elegidos.

En cuanto al aprendizaje de conceptos científicos y de sus representaciones simbólicas, hay que considerar el tipo de concepto de que se trate, categorial o formal (Lemeignan y Weil-Barais, 1993). Son estos últimos los que presentan mayores dificultades, por lo que las imágenes con las que se les pretende representar deberían incorporar una separación explícita de los planos realista y simbólico como primer paso para la enseñanza de los códigos propios de este segundo plano por parte de los profesores y los autores de libros de texto. De hecho, podemos afirmar que las posibilidades de expresión gráfica de todo tipo de conceptos o ideas es prácticamente infinita y no tiene más límites que la creatividad de los emisores del mensaje y los conocimientos y capacidad de los receptores a los que se dirigen.

Volviendo al campo de la didáctica de las ciencias experimentales, debemos advertir la escasez de referencias bibliográficas relativas al uso de estrategias basadas en el trabajo con imágenes para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, en particular, y del papel de las imágenes en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, en general. A este respecto, deben considerarse como excepciones la aparición de números monográficos como los de las revistas francesa *Aster* (núm. 22, 1996), con la denominación «Images et activités scientifiques», e inglesa, *International Journal of Science Education* (vol. 24, núm. 3, 2002).

Dada la mencionada escasez bibliográfica, vamos a proceder a presentar esta revisión en torno a los dos núcleos de investigación más frecuentes, uno de un ámbito específico

y el segundo de otro más globalizado: *a)* las imágenes en los libros de texto de ciencias; y *b)* las imágenes en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Esta división no debe suponer el establecimiento de una frontera entre ambos –algo difícil y absurdo–, sino que se trata de proporcionar una vía para estructurar la información que pretendemos presentar.

1) *Las imágenes en los libros de texto de ciencias.* Comenzando por los estudios en el ámbito español, al margen de los realizados por nosotros (Jiménez y Perales, 2001a; Perales y Jiménez, 2002a), centrados, respectivamente, en la taxonomización de las ilustraciones y en su inserción en la estructura didáctica de los libros de texto, nos encontramos con el trabajo de Pérez de Eulate y otros (1997, 1999). Estos autores se han preocupado de las características de las imágenes y de sus relaciones con los conocimientos previos de los alumnos en el marco de los tópicos de digestión y excreción. Respecto a las cualidades de las imágenes, identifican las siguientes: grado de iconicidad, ubicación espacial de los objetos, orientación de las formas en el espacio, uso del color, ampliación de algunos detalles, secciones gráficas, secuencias de imágenes y otros grafismos. Asimismo reparan en la relación de las imágenes con el texto escrito y, en concreto, con los rótulos acompañantes de las imágenes. Por otra parte analizan las aportaciones realizadas por otros investigadores respecto a la posible relación entre las ideas previas de los alumnos y el uso de las imágenes en biología, en general, y de la digestión y excreción, en particular. Seguidamente se plantean de un modo explícito los problemas a investigar: *a)* ¿Qué características tienen las imágenes de algunos libros de texto de primaria en el apartado dedicado a la estructuración de los conceptos de *digestión* y *excreción*? *b)* ¿Qué relación existe entre las imágenes y el texto escrito respecto a los conceptos científicos? *c)* ¿Qué problemas científicos se detectan en las imágenes usadas para presentar los conceptos de *digestión* y *excreción*?». La metodología de investigación se basó en la revisión de una muestra de libros de texto de educación primaria mediante unos indicadores relacionados con las características de las imágenes señaladas más arriba.

En otro orden de cosas, hemos encontrado referencias al tipo de ilustraciones que acompañan a los problemas propuestos en los libros de texto universitarios y su idoneidad (Congari y Giorgi, 2000).

En el ámbito anglosajón vamos a mencionar el trabajo de Thiele y Treagust (1995) donde se aborda el análisis del uso de analogías en libros de texto de química y su «cruce» con las intenciones manifestadas por los propios autores en su elaboración. En concreto, nos interesa lo relativo al uso de la representación visual de las analogías. Así, tales autores identificaron un 55 % de representaciones de este tipo respecto del total de analogías encontradas, pero ocupando un espacio marginal dentro del propio texto, por imposiciones de las editoriales en aras de reducir costos.

Finalmente, el trabajo de Martins (2002) ofrece una amplia perspectiva de esta problemática, tanto desde el punto de vista teórico e histórico como del empírico llevado a cabo por la autora.

2) *Las imágenes en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias*. Nos detendremos, en primer lugar, en el trabajo de Díaz de Bustamante y Jiménez (1996), referido a la interpretación de imágenes microscópicas de muestras biológicas por parte de los estudiantes. Los autores comienzan por una revisión bibliográfica del fenómeno de la percepción visual referida a los fenómenos propios de la biología, destacando el hecho de no haber hallado ningún estudio que aborde las destrezas de interpretación de estructuras biológicas en el contexto de las clases prácticas y los problemas que existen para su adquisición y evaluación en diferentes niveles educativos. Las muestras de alumnos implicadas correspondían a bachillerato y universidad. La toma de datos se realizó en el contexto habitual de prácticas de laboratorio, pidiéndose a los alumnos dibujos de lo que esperaban observar y, posteriormente, una vez realizada la experiencia con el microscopio, de lo observado. El procedimiento de análisis de datos consistió en una categorización empírica según la similitud morfológica, de distribución y de detalle para los distintos tipos celulares. Los autores señalan las dificultades encontradas por los estudiantes en la elaboración de los dibujos previos, así como las halladas en los elaborados con posterioridad a la observación. Estas últimas las atribuyen a razones de tipo actitudinal, técnicas o dependientes de las destrezas de observación de cada estudiante. Finalmente recomiendan distintas actuaciones, tales como: a) poner en marcha metodologías específicas para el desarrollo de habilidades de observación por parte de los estudiantes; b) realización de dibujos y diagramas que impliquen la interpretación, diferenciación y reconocimiento de diferentes estructuras celulares y tisulares; c) tener presentes las dificultades conceptuales que suele presentar para los alumnos la célula; d) reducir convenientemente las dificultades técnicas inherentes al proceso de observación microscópica.

Desde una perspectiva más psicológica, Balluerka (1995, pp. 63-67) ha estudiado la relación entre las representaciones mentales y las ilustraciones. En tal sentido detectó, en primer lugar, que los sujetos que estudian un texto científico suelen elaborar representaciones mentales, aunque no dispongan de ninguna instrucción al respecto, y que esas representaciones juegan un papel similar al de las ilustraciones. En segundo lugar, el efecto de las ilustraciones incluidas en el texto dependía del tipo de preguntas que incluyeron en una prueba de reconocimiento utilizada para evaluar el aprendizaje adquirido. En concreto, las cuestiones que exigían reconocer información extraída literalmente del texto no fueron sensibles al contexto ilustrado, pero las preguntas aplicadas o que no se desprendían directamente del texto mostraron un efecto acusado de las ilustraciones. Estos resultados venían a coincidir con los de Mayer (1989) y Mayer y Galini (1990), que indicaban que las ilustraciones mejoraban el rendimiento de aquellas pruebas que requieren la aplicación de los contenidos del texto —especialmente en la resolución de problemas y en el recuerdo de la información relacionada con ellos—, pero no en pruebas basadas en aspectos literales del mismo.

En una línea de búsqueda de relaciones entre los modelos mentales y las concepciones espontáneas de los estudiantes, se han movido los trabajos de Rufina Gutiérrez

(1994, 1996, 1999). Su fundamentación se halla en la teoría de los «modelos mentales mecánicos» elaborada por De Kleer y Brown con la finalidad de ilustrar cómo son los modelos mentales que los sujetos construyen cuando observan un sistema físico dinámico y quieren explicar su funcionamiento, y cómo será su evolución a lo largo del tiempo. En sus investigaciones, las imágenes son utilizadas en forma de viñetas de un tebeo para hacer que los alumnos interpreten las situaciones físicas que tienen lugar y para, posteriormente, solicitarles que las produzcan ellos mismos a fin de modelizar las situaciones físicas referidas.

Con una fundamentación también apoyada en la teoría de los modelos mentales, Otero y otros (2003) llevaron a cabo un trabajo comparativo entre dos grupos de alumnos de educación secundaria, uno de ellos a través de un tratamiento demostrativo que enfatiza el uso de recursos visuales (como imágenes estáticas, animaciones y «applets») y el otro con un tratamiento tradicional. La comparación se realizó en torno a la unidad didáctica oscilaciones libres, amortiguadas y forzadas. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre el rendimiento medio del grupo que trabajó con imágenes externas y el grupo que trabajó de manera tradicional. De forma cualitativa, los autores manifiestan que los testimonios de los alumnos experimentales evidenciaban sentimientos de placer al trabajar con las imágenes, pero también de mayor esfuerzo cognitivo. Los autores interpretan estos resultados tanto en razón de la sobrecarga cognitiva inherente al uso intensivo de las imágenes y a su propia complejidad como del uso demostrativo que se les dio en el aula; asimismo, ello les sirve para poner de manifiesto la falsa creencia de que las imágenes mejoran *per se* el aprendizaje.

Desde otra perspectiva, algunos de los autores anteriores (Fanaro et al., 2005) abordan un estudio diagnóstico acerca de las ideas que manejan los profesores sobre el papel pedagógico desempeñado por las imágenes en los libros de texto. Para ello encuestaron a un gran número de profesores de nivel medio y superior. Los resultados sugieren que, en general, los profesores conciben el papel de las imágenes de manera análoga a como lo hace la «psicología popular», por lo que reclaman la pertinencia de dotar al profesorado de herramientas intelectuales que le permitan superar esas creencias del sentido común.

Por último, queremos dejar constancia de una original experiencia debida a los autores Worner y Romero (1998), que vinculan la enseñanza de la física con el humor, tomando en este caso las caricaturas científicas como punto de encuentro de ambas producciones humanas y evaluando el aprendizaje de los alumnos mediante sus propias creaciones a modo de humor gráfico ligado a contenidos físicos.

Como muestra del auge que van adquiriendo las investigaciones relacionadas con la dimensión imaginaria, en esta misma revista, *Enseñanza de las Ciencias*, en el número 2 del volumen 23 (2005), de los diez artículos incluidos, cuatro de ellos están en cierta forma relacionados con dicha dimensión.

En el contexto anglosajón vamos a referirnos al exhaustivo trabajo de Mathewson (1999) centrado en el pensamiento visoespacial de los estudiantes y en destacar su importancia para el aprendizaje. Para ello, este autor comienza por enunciar el problema que se dispone a abordar llamando la atención sobre los requerimientos que muchas tareas de aprendizaje en ciencia poseen del dominio de esta habilidad por parte de los estudiantes aunque, paradójicamente, ha recibido muy escasa atención por parte de los investigadores. Prosigue enmarcando el concepto de *pensamiento visoespacial*, entendido como un proceso que incluye la visión y las imágenes, es decir, «la formación, inspección, transformación y mantenimiento de las imágenes en el “ojo de la mente” en ausencia de un estímulo visual». Una vez repasado el contexto psicológico, se centra este autor en el papel de las imágenes en ciencia a través de tres núcleos: la imaginación visual utilizada por los científicos para modelizar, la imaginación metafórica en la comunicación del conocimiento y la imaginación temática, entendiendo por temas aquellas ideas unificadoras que han servido para construir el pensamiento científico a lo largo de la historia. Posteriormente se centra en criticar la práctica educativa que ignora el pensamiento visoespacial en distintos frentes: el aprendizaje temprano, el papel del lenguaje y la imagen en la instrucción, y la codependencia del libro de texto. A partir de esta crítica reclama una búsqueda de coherencia en la información que se presenta a los estudiantes a través del uso de imágenes y de contenidos integradores, y propone una lista de cuestiones clave a investigar así como la necesidad de formar a los profesores en estas capacidades.

Nos detendremos ahora en el Proyecto Europeo STTIS (The Science Teacher Training in an Information Society; Pintó, 2002), que aborda el uso de las imágenes en ciencia desde distintas perspectivas: la de los estudiantes y los profesores, y la de la propia ciencia (energía y óptica). A través del monográfico de la revista *International Journal of Science Education*, 24(3), los distintos autores van desgranando los trabajos emprendidos, finalizando con un análisis global y comparativo de las dificultades que encuentran los estudiantes participantes al leer imágenes (Pintó y Ametller, 2002), donde podemos hallar interesantes generalizaciones que pueden servir de guía para la enseñanza y el aprendizaje con imágenes.

Concluiremos este apartado refiriéndonos a la investigación en el ámbito francófono, y lo hacemos con el número monográfico de la revista *Aster* (núm. 22, 1996) al que aludimos. Este número, coordinado por Gérard Mottet intenta presentar distintas formas de relación entre las imágenes y las actividades científicas, bajo la pregunta clave: «En qué condiciones las imágenes podrían convertirse en fuentes de aprendizaje?» (Mottet, 1996). Estos modos expuestos en la revista mencionada abarcan tanto la enseñanza de la ciencia y de la tecnología como diferentes modelos de enseñanza, así como la educación primaria, la formación profesional o la divulgación científica. Las aportaciones que mejor representan nuestra perspectiva de investigación son las de Mottet (1996), Beaufils y otros (1996) y Allain (1995).

Por otra parte, internet sigue suministrando al profesor avezado multitud de herramientas para su uso en el aula.

A este respecto, mencionaremos, como ejemplo, la posibilidad de analizar desde el punto de vista cinemático grabaciones con *web cam*, lo que se traduce en la visualización de los trazos de movimiento y de sus coordenadas (Ezquerro, 2005). Tal herramienta informática nos proporciona la oportunidad de que los alumnos tomen conciencia de la vinculación existente entre los fenómenos naturales y su modelización por parte de la ciencia, aspecto de vital importancia para un adecuado aprendizaje científico.

Haciendo un esfuerzo de síntesis con relación a las aportaciones analizadas, podríamos afirmar:

– En cuanto a la utilización que habitualmente hacen los libros de texto de las ilustraciones abundan las irrelevantes o las cargadas de ambigüedad. Cuando se representan procesos, son más adecuadas las ilustraciones simbólicas. Asimismo, debe rescatarse el importante papel desempeñado por las imágenes como agentes analógicos.

– El uso de las ilustraciones en el aula debe estar marcado por actividades específicas, tales como la clarificación de los propios signos gráficos, la adecuada correlación con el texto escrito, la simultaneidad de las observaciones de los planos real y simbólico, la producción de imágenes por parte de los alumnos y su integración efectiva en la evaluación del aprendizaje.

– Las nuevas tecnologías proporcionan una oportunidad potencialmente fructífera como fuente de recursos audiovisuales, siempre y cuando se evalúen adecuadamente, se empleen para contenidos que lo requieran y se tenga en cuenta la sobrecarga cognitiva que suelen conllevar para los alumnos, así como sus actitudes hacia las mismas.

– En este último sentido, las escasas contribuciones empíricas que hemos hallado parecen plantear unas optimistas perspectivas con respecto a la integración del trabajo con imágenes en metodologías de enseñanza con orientación constructivista y por investigación.

ALGUNAS APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN AL APRENDIZAJE CIENTÍFICO MEDIANTE IMÁGENES

Una vez que hemos revisado las aportaciones más significativas de cara a fundamentar el aprendizaje a través de las imágenes, solas o en coordinación con la información verbal, es hora de exponer los resultados de algunas investigaciones, propias o ajenas, que se relacionan con el contenido científico. Para ello seguiremos el esquema expuesto en la figura 1, centrándonos en los apartados:

- Educación formal:
 - Los libros de texto.
 - La resolución de problemas.
- Educación informal:
 - Televisión.

Educación formal

Hemos elegido dos contextos de uso de las imágenes suficientemente extendidos en las aulas. Uno de ellos pertenece a la categoría de materiales curriculares (libros de texto) y el segundo a una actividad de enseñanza-aprendizaje de gran representatividad en el ámbito científico, esto es, la resolución de problemas.

Libros de texto

Vamos a comenzar prestando atención a los libros de texto, en cuanto conforman hoy por hoy el material curricular más influyente en el discurrir docente, al menos en los niveles de la educación primaria y secundaria.

No es preciso insistir en la abrumadora presencia de *ilustraciones* en los libros de estos niveles educativos, que llega a alcanzar el 50% de la superficie impresa. Las valoraciones de estos libros han constituido una de las líneas de investigación más recurrentes en la didáctica de las ciencias experimentales, lo que paradójicamente ha afectado en escasa medida a su ámbito imaginario. A nuestro juicio, dicha evaluación debería partir de un primer intento de clasificación de las ilustraciones –proceso al que hemos denominado *taxonomización*– en el que se prescinda de detalles técnicos y se centre en sus características científico-didácticas. En segundo lugar, deberíamos recurrir al establecimiento de criterios de valoración de estas ilustraciones apoyados en los resultados de la investigación educativa (y no sólo en el ámbito de las ciencias experimentales).

La taxonomización de las ilustraciones la llevamos a cabo mediante un procedimiento inductivo cuyos resultados hemos expuesto en esta misma revista (Perales y Jiménez, 2002), por lo que no nos vamos a detener en su descripción, sino que presentamos en la tabla 2 las categorías establecidas y su descripción.

Tabla 2

Categorías establecidas para la taxonomización de ilustraciones de ciencias en libros de educación secundaria (Perales y Jiménez, 2002).

| CATEGORÍA | DESCRIPCIÓN |
|--|---|
| 1) <i>Función de la secuencia didáctica en la que aparecen las ilustraciones</i> | Para qué se emplean las imágenes, en qué pasajes del texto se sitúan, etc. |
| 2) <i>Iconicidad</i> | Qué grado de complejidad poseen las imágenes |
| 3) <i>Relación con el texto principal</i> | Referencias mutuas entre texto e imagen. Ayudas para la interpretación |
| 4) <i>Etiquetas verbales</i> | Textos incluidos dentro de las ilustraciones |
| 5) <i>Contenido científico que las sustenta</i> | Caracterización desde el punto de vista mecánico de las situaciones representadas en las imágenes |

La valoración de las ilustraciones la hemos abordado desde dos puntos de vista: uno más general a través del establecimiento de un «decálogo» de análisis, basado en los resultados de la investigación educativa; y otro más particular centrado en la «presunta experimentalidad» de algunas de las ilustraciones presentes en los libros de texto de ciencias. El primero de ellos se muestra en el cuadro 1. El segundo aspecto nos interesa en la medida en que el frecuente uso de las ilustraciones para «convencer» a los lectores lleva a veces a mostrar escenas que presuntamente confirmarían las predicciones científicas; esto puede hacerse sobre imágenes figurativas o simbólicas (Jiménez y Perales, 2002b).

Mención aparte merece un tipo de ilustración cuya naturaleza está ligada intrínsecamente al lenguaje científico, como son las *gráficas*. Hemos abordado su estudio en distintas fases, que comprenden: *a)* su naturaleza científico-técnica en libros de texto de química de bachillerato; *b)* el contexto en el que se inscriben; *c)* su comprensión por parte de alumnos de diferentes niveles educativos; y *d)* el uso que hacen los profesores de las mismas en sus aulas (García y Cervantes, 2004; García, 2005a, 2005b).

Resolución de problemas

En este segundo subapartado mostraremos dos experiencias relacionadas con esta actividad.

La primera de ellas tuvo lugar con alumnos de educación secundaria obligatoria y la investigación partió de un análisis crítico de la simbología utilizada en física para la representación de la interacción. Se optó por una representación puramente simbólica, denominada RSI («representación simbólica de interacciones») (Jiménez y Perales, 2001b). El siguiente paso consistió en integrar esa herramienta en la resolución de problemas habituales que venían acompañados de imágenes figurativas, para lo cual los alumnos, dirigidos por el profesor, seguían una estrategia basada en: *a)* la identificación de los objetos intervinientes y de sus interacciones, utilizando para ello las RSI; *b)* la depuración de estas últimas; *c)* la representación de las fuerzas; y *d)* la resolución del problema. En caso de ser necesario, se procede a su resolución experimental. Los resultados obtenidos, a través de un complejo diseño de investigación, evidenciaron que, en general, los alumnos alcanzaban un mejor aprendizaje a medio y largo plazo (Jiménez, 1998). Una interesante variante de esta investigación fue la comparación de los resultados que se obtenían en la resolución de tres problemas, cuando se suministraban a los alumnos dibujos esquemáticos frente a cuando se les presentaban los materiales reales; los resultados obtenidos mostraron una significativa influencia del contexto (real o esquemático) sobre la realización de los problemas (Jiménez y Perales, 2002c). Este hecho enlaza con los comentarios que realizamos líneas arriba en relación con lo improcedente de utilizar, por parte de algunos libros de texto, la imagen como sustitutiva de la experimentación.

Cuadro 1

Decálogo para valorar las ilustraciones presentes en libros de texto de ciencias.

- 1) No existen pruebas experimentales que puedan atribuir a las imágenes un efecto positivo genérico debido a la motivación. Aunque a las personas en general les atraen las ilustraciones, no se puede esperar de esto ningún efecto positivo sobre el aprendizaje.
- 2) Existen evidencias de que los textos explicativos que describen un sistema en términos de relaciones causales entre sus diversos componentes se benefician de las ilustraciones siempre que éstas estén acompañadas de etiquetas verbales y muestren las relaciones existentes entre los diversos elementos. La mejora es más notable si las imágenes muestran secuencias de los diversos estados del sistema. Por el contrario, deberían eliminarse los textos e ilustraciones extraños a las relaciones causales establecidas.
- 3) También existen evidencias de que aquellos textos que describen las relaciones entre conceptos se benefician de su representación espacial aunque éstos no posean dimensiones espaciales.
- 4) Las imágenes mixtas deberían incorporar una separación explícita de los planos realista y simbólico, como primer paso para la enseñanza de los códigos propios de este segundo plano por parte de los profesores y autores de libros de texto y para evitar la tendencia de los estudiantes a priorizar la importancia de los elementos realistas sobre los simbólicos.
- 5) En la utilización que habitualmente hacen los libros de texto de las ilustraciones, abundan las irrelevantes o las cargadas de ambigüedad, debiéndose explicitar la información no compartida por los estudiantes y el ilustrador así como eliminar todo elemento accesorio y símbolos sinónimos o polisémicos.
- 6) El pensamiento analógico también se beneficia de las representaciones pictóricas pero sólo cuando se dan ciertas condiciones que permiten la transferencia del dominio fuente al dominio destino (p.e., que la fuente posea mayor dificultad que el destino).
- 7) Respecto a las características de las imágenes, son preferibles las sencillas, ya que el exceso de detalles puede dificultar su comprensión, a menos que la complejidad del conocimiento que representan lo requiera.
- 8) Es imprescindible dirigir el proceso de exploración de las ilustraciones mediante etiquetas verbales o tareas que obliguen a los lectores a extraer información de las mismas. La concurrencia adecuada de las imágenes y las palabras que las acompañan es un factor determinante en el aprovechamiento del potencial didáctico de una ilustración. Existen evidencias de que, sin estas condiciones, las ilustraciones se observan superficialmente sin afectar al lector.
- 9) Las ilustraciones deberían estar destinadas a aprendices con un bajo nivel de conocimiento previo, lo que garantizaría su accesibilidad a la mayoría de los lectores.
- 10) El uso de las ilustraciones en el aula debe estar marcado por actividades específicas, tales como la clarificación de los propios signos gráficos, la adecuada correlación con el texto escrito, la simultaneidad de las observaciones de los planos real y simbólico, la corrección de errores, la producción de imágenes por parte de los alumnos y su integración efectiva en la evaluación del aprendizaje.

La segunda experiencia se desarrolló con alumnos universitarios, estudiantes de física, dentro del contexto de un proyecto de innovación para incrementar la eficacia de esta actividad educativa. Durante la fase diagnóstica, varios grupos de 4º curso respondieron durante tres años consecutivos a un cuestionario de preguntas abiertas sobre los problemas y su resolución. Una de las preguntas requería de los estudiantes que expusieran las dificultades que solían encontrar a la hora de resolver los problemas. Un número significativo de ellas aludía a la representación espacial de los problemas, unas en el sentido de reclamar que los enunciados fueran acompañados de figuras aclaratorias o en el de denunciar lo inadecuado de las que se emplean habitualmente (Perales y Salinas, 2004).

Las experiencias anteriores muestran el importante papel que desempeñan las imágenes, tanto en cuanto herramientas de enseñanza-aprendizaje como en el cuidado que se debe poner en no convertirlas en alternativas de la realidad material.

Educación informal

La primera reflexión que nos merece este apartado es la creciente influencia de los medios de comunicación sobre los conocimientos cotidianos de los jóvenes actuales. De hecho, los sucesivos ecobarómetros (Instituto de Estudios Sociales de Andalucía, 2004) y eurobarómetros (Eurobarometer 55.2, 2001), tanto en el ámbito nacional como europeo, ponen de manifiesto que la educación informal constituye su principal fuente de conocimientos científicos y medioambientales (y más en concreto, la fuente televisiva, en frecuencia y en preferencia). A pesar de la relativa abundancia de experiencias en la vinculación de la prensa con la educación (bastante menor en el caso de la enseñanza de las ciencias), vamos a centrarnos en el medio televisivo, aunque sea por el peso cualitativo y cuantitativo que representa en la vida de los jóvenes actuales.

La incidencia que suponen los medios de comunicación sobre la formación en contenidos científicos y valores de

nuestros jóvenes de por sí justifica establecer la alfabetización audiovisual como una de las prioridades de nuestros sistemas educativos. Frente a las diferentes formas de entender dicha alfabetización (Borrego, 2000), nos posicionamos en el enfoque que se centra en el contenido de dichos medios (*media content literacy*), debido a la naturaleza de este artículo.

Televisión

No vamos a insistir en la influencia que ejerce la televisión en las vidas cotidianas o valores de nuestros niños y jóvenes, puesto que es algo sobradamente contrastado (Perales et al., 2004). No obstante, el monopolio televisivo en el ocio de nuestros jóvenes empieza a perder intensidad a costa del tiempo que le va restando el creciente uso de internet (*Gaceta Universitaria*, 11-4-2005).

Parece evidente la tensión existente en la sociedad con relación a dicha influencia: se da una relación de amor-odio sin parangón con otros avances tecnológicos. El ámbito de la educación formal no escapa a esa disyuntiva, cundiendo la sensación entre muchos docentes de que han de educar en contra del poder televisivo. Parece fuera de toda duda que nos encontramos ante una batalla desigual y que es necesario un cambio de estrategia.

Quizás el primer paso que habría que dar sería el de identificar la presencia de la ciencia en la televisión. A este respecto nos hacemos eco del reciente trabajo de Pro y Ezquerria (2005), en el que realizan un inventario de dicha presencia en la prensa escrita y en la televisión, aportando índices de audiencia de los programas con algún ingrediente científico.

Un paso más puede consistir en el análisis de ese componente científico. ¿Y dónde? El mundo de la publicidad, del que casi nadie se escapa, puede ser un buen campo de maniobras. En él pueden hallarse manifestaciones de algunas de las falsas imágenes de la ciencia, alimentadas ahora por las empresas como certificado de calidad de sus productos. Nos referimos a características como la objetividad, la veracidad o la inmutabilidad. Para ello se recurre en muchas ocasiones al uso torcero del lenguaje científico con la esperanza de que, cuanto más impenetrable sea para el gran público, más creíble parecerá. Dicho uso incluye a veces crasos errores que evidencian que las compañías publicitarias dan por supuesto un analfabetismo científico por parte de los ciudadanos, lo que ha sido puesto de manifiesto por algunos investigadores como Jiménez y otros (2000) o Campanario y otros (2001).

Otra clase de programas con una significativa audiencia entre el sector de población de menor edad es el de los *dibujos animados*. Durante los últimos años ha ido surgiendo el interés por valorarlos, no sólo desde el punto de vista físico (como ha sido nuestro caso), sino también, por ejemplo, desde el punto de los valores ambientales que transmiten (Kim, 1994) o de las interpretaciones que hacen los niños de los mismos (Pertíñez, 2005). Esos programas, debido a la atención que despiertan, son

aprovechados por las cadenas televisivas españolas para intercalar publicidad de productos considerados contraproducentes para su salud (e-defensor, 16-3-2005) o para su formación científica, como acabamos de mencionar más arriba.

Vamos a detenernos brevemente en la descripción de la utilización de los dibujos animados para la enseñanza de la física que hemos llevado a cabo (Vilchez, 2004). El supuesto básico de partida para esta investigación fue que la naturaleza ficticia de los dibujos animados, y la consecuente violación de las leyes físicas que en ellos se evidenciaba, podría convertirse en un instrumento útil para favorecer el aprendizaje de la física en alumnos de educación secundaria. El diseño de la investigación incluyó el análisis de diversas experiencias de dichos alumnos, tales como:

- La identificación de secuencias imposibles desde el punto de vista físico.
- La justificación física de cómo deberían haberse producido.
- La discusión en grupo de las mismas.
- La conversión de estas secuencias en problemas físicos.
- La evaluación de los alumnos mediante el análisis de aquéllas.

Además de estas experiencias con los alumnos, se incluyeron otras con profesores para la identificación de las secuencias imposibles y su posterior comparación con la efectuada por los alumnos. Asimismo se llevó a cabo un análisis de la imagen de la ciencia y de los científicos mostrada por un gran número de capítulos de dibujos animados, comparándola con la presente en cómics (Vilchez y Perales, en prensa). Aparte de estas experiencias, se generó un material curricular consistente en secuencias de dibujos animados clasificadas en función del currículo de física y que poseían un alto poder para generar debates y discusiones entre los alumnos.

No es el momento de abundar en los resultados generados a través de las distintas etapas de la investigación (Perales y Vilchez, en prensa), simplemente diremos que el análisis de los dibujos animados en el aula estimula la capacidad de observación de los estudiantes, su participación activa en las discusiones que tienen lugar en aquélla, su interés por la asignatura, su análisis crítico de la televisión, la explicitación de sus concepciones sobre ciertos fenómenos físicos y la mejora de su aprendizaje y nivel de argumentación.

Es evidente que esta investigación representa sólo un primer intento de integrar esta herramienta didáctica en la dinámica de aula y que su potencialidad es alta. Así, por ejemplo, nos podríamos preocupar por la superposición de los símbolos gráficos propios de la física (vectores, trayectorias, etc.) sobre las escenas y objetos de las secuencias de dibujos animados, en un proceso similar al anteriormente utilizado por Ezquerria (2005).

Una perspectiva distinta con la que puede analizarse el contenido televisivo es la presencia de *temas ambientales*. Como hemos apuntado antes, existen evidencias empíricas de que la mayor parte de la información que reciben los ciudadanos sobre dichos temas es a través de la televisión. Se hace, por tanto, necesario identificar esa presencia en los diferentes tipos de programas y analizar su contenido. Un siguiente paso sería su incorporación sistemática al trabajo de aula, de forma similar a lo que hemos indicado para los dibujos animados en la enseñanza de la física.

A este respecto, hemos abordado las dos primeras fases (Perales y García, 1999). Un primer sondeo en televisiones públicas nos permitió agrupar la presencia de temas ambientales en los programas informativos, ambientales y en los infantiles; en un segundo intento clasificatorio encontramos categorías más específicas. En la tabla 3 presentamos las correspondientes a los programas informativos.

Tabla 3

Categorías ambientales identificadas en los programas informativos de las cadenas públicas de televisión.

| CATEGORÍAS | NOTICIAS AMBIENTALES |
|------------------------|--|
| <i>Contenido</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Agua - Incendios forestales - Deforestación y desertización - Contaminación - Situaciones de riesgo - Patrimonio - Impacto ambiental |
| <i>Tipo de noticia</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Legislación - Protestas y denuncias - Catástrofes |
| <i>Sección</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Portada o resumen - Otros |

Respecto al contenido de las noticias, nos interesaba, especialmente, detectar si eran presentadas como catástrofes, formato muy frecuente en el ámbito mediático, o bien también como sucesos o procesos, es decir, con sus antecedentes y consecuentes, algo más deseable desde el punto de vista de la contextualización y comprensión de las situaciones descritas. Los resultados obtenidos indicaron que se va abriendo paso un discurso ambiental menos catastrofista de lo supuesto y comienzan a apuntarse posibles soluciones a los problemas ambientales. Por el contrario, la información suele centrarse en episodios puntuales y no en su origen y en su seguimiento en el tiempo.

Restaría, por tanto, catalogar diferentes programas y noticias de índole ambiental para su inclusión y análisis en el trabajo de aula, para lo cual podríamos utilizar formatos similares a los descritos en el caso de los dibujos animados, aunque ahora hemos de tener en cuenta que

el propósito principal debería ser el de educar ambientalmente a los estudiantes, lo que significa fundamentalmente un cambio en sus actitudes y, dentro de éstas, en sus comportamientos. Ello implicaría, entre otras cosas, caracterizar los mensajes que se desprenden de esos programas, haciendo especial énfasis en los valores que transmiten y en las implicaciones individuales y colectivas que deberían derivarse para la mejora de la situación del mundo. A este respecto se dispone hoy día de herramientas de investigación educativa que permiten procesar simultáneamente datos en vídeo, en audio y en texto escrito, por ejemplo, el programa de descarga gratuito «Transana», en www2.wcer.wisc.edu/transana/.

A MODO DE RECAPITULACIÓN

A lo largo de estas páginas hemos tratado de exponer algunas de las múltiples facetas que presentan las imágenes en la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia. En una sociedad como la actual, descrita a veces como «sociedad del conocimiento», una parte significativa del mismo se canaliza en un formato visual, sin que ello despierte un gran interés entre los educadores y los investigadores en educación. No obstante, también existen síntomas de que algo se mueve en este terreno y que comienza a preocupar: no sólo este hecho incuestionable, sino la forma en que se puede aprovechar didácticamente ese inmenso potencial. A pesar de ello sigue dando la sensación de que el dinamismo social y, en concreto, de sus medios de comunicación, lleva varios cuerpos de ventaja a la escuela tradicional.

Pese a la aparición de algunas iniciativas de innovación e investigación educativas, es preciso abordar esta problemática con una mayor intensidad y planificación. A este respecto apuntamos algunas posibles actuaciones:

- 1) La imagen, en sus distintas modalidades y formatos, debe ser evaluada desde el punto de vista didáctico, al menos, al mismo nivel de lo que se hace con el lenguaje verbal. Para ello deberíamos comenzar por comprender que en el lenguaje visual «no todo vale».
- 2) Ello debería conducir a seleccionar cuidadosamente las imágenes que usamos en la enseñanza de la ciencia, suprimiendo las que sólo poseen una función decorativa, transformando las existentes e inventando otras nuevas.
- 3) Al igual que gran parte de las actividades de aula conllevan el trabajo sobre un texto escrito (lectura de un libro, resolución de un problema, etc.), también deberíamos hacerlo en la misma medida sobre el visual (interpretación o construcción de gráficas, detección de errores en figuras, etc.), lo que implica naturalmente un «coste cognitivo». En este sentido, la coherencia entre el lenguaje verbal y el visual usados en la enseñanza es un factor de gran ayuda (piénsese, a este respecto, en la unidad que forman ambos formatos en el lenguaje de los cómics), debiéndose favorecer en el alumno la realización de actividades en un doble sentido, esto es, la construcción de las imágenes a partir de un texto escrito y a la inversa.

4) Desde el punto de vista de la epistemología de la ciencia, es preciso que el alumno sepa en cada momento cuál es la realidad, su modelización y la representación mediante imágenes, a fin de evitar la confusión entre esos tres planos. De hecho, no podemos esperar que las imágenes puedan sustituir siempre a las experiencias sensoriales que se derivan del contacto de los estudiantes con los fenómenos naturales (manipulación de material de laboratorio, observación de la flora de un ecosistema, etc.).

5) En las imágenes, como en el medio natural, la diversidad es un indicio de calidad. La multiplicidad de tipos y funciones didácticas posibles debe aprovecharse en el ámbito didáctico en función de las necesidades de los estudiantes. En especial, los contenidos complejos suelen ser los más favorecidos por su representación icónica.

6) El factor individual también cuenta: variables como el conocimiento previo del estudiante, su estilo de aprendizaje, su nivel de desarrollo cognitivo o su actitud hacia los recursos visuales empleados juegan un papel relevante en los resultados del aprendizaje.

7) Como todo intento de mejora de la calidad de la enseñanza, se hace preciso contar con la preparación y complicidad del profesorado. Por tanto, resulta imprescindible que, tanto en su formación inicial como a lo largo de su desarrollo profesional, se le ofrezcan oportunidades para que tomen conciencia del importante rol de la imagen, en general, y de los medios de comunicación, en particular, para su incorporación crítica en las actividades habituales con sus alumnos. De hecho, la alfabetización científico-visual debería convertirse cuanto antes en una de las prioridades de nuestra acción educativa para dotar a los estudiantes de herramientas cognitivas con el fin de comprender mejor la sociedad de la información en la que nos hallamos sumidos.

NOTA

* Ponencia presentada en el VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias (Granada, 7 al 10 de septiembre de 2005).

¹ El *Diccionario de la Real Academia Española* (1994) las define como sigue. *Imagen*, «figura, representación, semejanza y apariencia de una cosa». *Ilustración*, «estampa, grabado o dibujo que adorna o documenta un libro».

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLAIN, J.C. (1995). Un dispositif didactique utilisant des images pour faire évoluer les conceptions des élèves de dix ans sur les séismes. *Aster*, 21, pp. 109-133.
- BALLUERKA, N. (1995). *Cómo mejorar el estudio y aprendizaje de textos de carácter científico*. Bilbao: Servicio de Publicaciones de la Universidad del País Vasco.
- BEAUFILS, D., LE TOUZÉ, J.C., RICHOUX, H. y RICHOUX, B. (1996). Les images pour des activités scientifiques: Apport des nouvelles technologies sur l'enseignement de la physique. *Aster*, 22, pp. 149-171.
- BORREGO, C. (2000). Perspectivas sobre la alfabetización visual. *Investigación en la Escuela*, 41, pp. 5-20.
- BUNGE, M. (1981). *Teoría y realidad*. Barcelona: Ariel.
- BUNGE, M. (1982). *Filosofía de la física*. Barcelona: Ariel.
- BUNGE, M. (1983). *La investigación científica*. Barcelona: Ariel.
- CAMPANARIO, J.M., MOYA, A. y OTERO, J.C. (2001). Invocaciones y usos inadecuados de la ciencia en la publicidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), pp. 45-56.
- CARNEY, R.N. y LEVIN, H.R. (2002). Pictorial illustrations still improve students' learning from text. *Educational Psychology Review*, 14(1), pp. 5-26.
- CONGARI, S.B. y GIORGI, S. (2000). Los problemas resueltos en textos universitarios de física. *Enseñanza de las Ciencias*, 18, pp. 381-390.
- DE PRO, A. y EZQUERRA, A. (2005). ¿Qué ciencia ve nuestra sociedad? *Alambique*, 43, pp. 37-48.
- DEL CARMEN, L. (2001). Los materiales de desarrollo curricular: un cambio imprescindible. *Investigación en la Escuela*, 35, pp. 51-56.
- DÍAZ DE BUSTAMANTE, J. y JIMÉNEZ, M.P. (1996). ¿Ves lo que dibujas? Observando células con el microscopio. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), pp. 183-194.
- EUROBAROMETER 55.2 (2001). *Europeans, science and technology*. Diciembre. <<http://europa.eu.int/comm/research/press/2001/pr0612en.html>>.
- EZQUERRA, A. (2005). Utilización de vídeos para la realización de medidas experimentales. *Alambique*, 44, pp. 113-119.
- FANARO, M.A., OTERO, M.R. y GRECA, I.M. (2005). Las imágenes en los materiales educativos: las ideas de los profesores. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(2). <www.saum.uvigo.es/reec>.
- GARCÍA, J.J. y CERVANTES, A. (2004). Las representaciones gráficas cartesianas en los libros de texto de ciencias. *Alambique*, 41, pp. 99-108.
- GARCÍA, J.J. (2005a). El uso y el volumen de información en las representaciones gráficas cartesianas presentadas en los libros de texto de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(2), pp. 181-199.
- GARCÍA, J.J. (2005b). «La comprensión de las representaciones gráficas cartesianas presentes en los libros de texto de ciencias experimentales, sus características y el uso que se hace de ellas en el aula». Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- GONZÁLEZ, O. (2004). *La evaluación de imágenes*. <<http://www.redcientifica.com/doc/doc200407050001.html>>.
- GUEST EDITORIAL (2002). Spatial text adjuncts and learning: An introduction to the special issue. *Educational Psychology Review*, 14(1), pp. 1-3.
- GUTIÉRREZ, R. (1994). «Coherencia del pensamiento y causalidad. El caso de la dinámica elemental». Tesis doctoral. Madrid: Universidad Complutense.
- GUTIÉRREZ, R. (1996). Modelos mentales y concepciones espontáneas. *Alambique*, 7, pp. 73-86.
- GUTIÉRREZ, R. (1999). La causalidad en los razonamientos espontáneos. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, pp. 31-61.
- INSTITUTO DE ESTUDIOS SOCIALES DE ANDALUCÍA (IESA-CSIC) (2004). *Ecobarómetro de Andalucía 2004. Resultados más relevantes*. <<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/ecobarometro/ecobar04.pdf>>.
- JIMÉNEZ, J.D. (1998). «Los medios de representación gráfica en la enseñanza de la física y la química». Tesis doctoral. Granada: Universidad de Granada.
- JIMÉNEZ, J.D. y PERALES, F.J. (2001a). El análisis secuencial del contenido. Su aplicación al estudio de libros de texto de física y química. *Enseñanza de las Ciencias*, 19, pp. 3-19.
- JIMÉNEZ, J.D. y PERALES, F.J. (2001b). Graphic representation of force in secondary education: analysis and alternative educational proposal. *Physics Education*, 36, pp. 227-235.
- JIMÉNEZ, J.D. y PERALES, F.J. (2002a). Modélisation et représentation graphique de concepts. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 96, pp. 397-417.
- JIMÉNEZ, J.D. y PERALES, F.J. (2002b). La evidencia experimental a través de la imagen en libros de texto de física y química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(2). <www.saum.uvigo.es/reec>.
- JIMÉNEZ, J.D. y PERALES, F.J. (2002c). ¿Pueden sustituir las experiencias de lápiz y papel a su realización práctica? Actas de los XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. La Laguna (Tenerife), pp. 483-492.
- JIMÉNEZ, M.R., DE MANUEL, E., GONZÁLEZ, F. y SALINAS, F. (2000). La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: aplicaciones en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), pp. 451-461.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. (1983) *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge: Harvard University Press.
- KIM, D.L. (1994). «Captain Planet and the planeters: kids, environmental crisis and competing narratives of the new world order». *Sociological Quarterly*, 35(1), pp. 103-120.

- LEMEIGNAN, G. y WEIL-BARAIS, A. (1993). *Construire des concepts en physique*. París: Hachette Education.
- LEVIN, J. R. (1981). On functions of pictures in prose, en Pirozzolo, F.J. y Wittrock, M.C. (eds.). *Neuropsychological and Cognitive Processes in Reading*, pp. 203-228. Nueva York: Academic Press.
- LEVIN, J.R., ANGLIN, G.J. y CARNEY, R.N. (1987). On empirically validating functions of pictures in prose, en Willows, D.M. y Houghton, H.A. (eds.). *The Psychology of Illustration: I. Basic Research*. Nueva York: Springer, pp. 51-85.
- LEVIN, J. R. y MAYER, R. E. (1993). Understanding illustrations in text, en Britton, B.K., Woodward, A. y Brinkley, M. (eds.). *Learning from Textbooks*, pp. 95-113. Nueva Jersey: Erlbaum, Hillsdale.
- MARTÍN, M. (1987). *Semiología de la imagen y pedagogía*. Madrid: Narcea.
- MARTINS, I. (2002). Visual imagery in school science texts, en Otero, J., León, J.A. y Graesser, A.C. (eds.). *The psychology of science text comprehension*. Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum Assoc.
- MATTHEWSON, J.H. (1999). Visual-spatial thinking: An aspect of science overlooked by educators. *Science Education*, 83(1), pp. 33-54.
- MAYER, R.E. (1989). Systematic thinking fostered by illustrations in scientific text. *Journal of Educational Psychology*, 81(2), pp. 240-246.
- MAYER, R.E. y GALLINI, J.K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words. *Journal of Educational Psychology*, 82(4), pp. 715-726.
- MAYER, R.E. y MORENO, R. (2002). Animation as an aid to multimedia learning. *Educational Psychology Review*, 14(1), pp. 87-99.
- MOTTET, G. (1996). Images et activités scientifiques. Reintégrer l'image. *Aster*, 22, pp. 3-13.
- OTERO, M.R., GRECA, I.M. y DA SILVEIRA, F.L. (2003). Imágenes visuales en el aula y rendimiento escolar en física: un estudio comparativo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(1). <www.saum.uvigo.es/reec>.
- PAIVIO, A.V. (1971). *Imagery and verbal processes*. Nueva York: Holt, Rinehart y Winston.
- PAIVIO, A.V. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Nueva York: Oxford University Press.
- PEECK, J. (1993). Increasing picture effects in learning from illustrated text. *Learn. Instruc.*, 3, pp. 227-238.
- PERALES, F.J. y GARCÍA, N. (1999). Medios de comunicación y educación ambiental. *Comunicar*, 12, pp. 149-155.
- PERALES, F.J. y JIMÉNEZ, J.D. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 20, pp. 369-386.
- PERALES, F.J. y SALINAS, A. (2004). *Percepción de estudiantes de física sobre la dificultad en la resolución de problemas*. Actas de los XXI Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Servicio de Publicaciones de la UPV. Bilbao, pp. 119-124.
- PERALES, F.J., VÍLCHEZ, J.M. y SIERRA, J.L. (2004). Imagen y educación científica. *Cultura y Educación*, 16(3), pp. 289-304.
- PERALES, F.J. y VÍLCHEZ, J.M. (en prensa). The teaching of physics and cartoons: can they be interrelated in secondary education? *International Journal of Science Education*.
- PÉREZ DE EULATE, L., LLORENTE, E. y ANDREU, A. (1997). Las imágenes de los libros de texto sobre conceptos biológicos: digestión-excreción, en Jiménez, R. y Wamba, A.M. (eds.). *Avances en la didáctica de las ciencias experimentales*, pp. 83-94. Huelva: Servicio de Publicaciones de la Universidad.
- PÉREZ DE EULATE, L., LLORENTE, E. y ANDREU, A. (1999). Las imágenes de la digestión y excreción en los textos de primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 165-178.
- PERTIÑEZ, J. (2005). <<http://www.sofresam.com/datsem.htm>>.
- PINTÓ, R. (ed.) (2002). The science teacher training in an information society (STTIS) project. *International Journal of Science Education*, 24(3), special issue.
- PINTÓ, R. y AMETLLER, J. (2002). Students' difficulties in reading images. Comparing results from national research groups. *International Journal of Science Education*, 24(3), pp. 333-341.
- SCHNOTZ, W. (2002). Towards an integrated view of learning from text and visual displays. *Educational Psychology Review*, 14(1), pp. 101-120.
- SHAH, P. y HOEFFNER, J. (2002). Review of graph comprehension research: Implications for instruction. *Educational Psychology Review*, 14 (1), pp. 47-69.
- SHAPIRO, B. (1998). Reading the furniture: The semiotic interpretation of science learning environments, en Fraser, B.J. y Tobin, K.G. (eds.). *International Handbook of Science Education*, pp. 609-622. Holanda: Kluwer Acad. Publ.
- THIELE, R.B. y TREAGUST, D.B. (1995). Analogies in chemistry textbooks. *International Journal of Science Education*, 17(6), pp. 783-795.
- VÍLCHEZ, J.M. (2004). «Física y dibujos animados. Una estrategia de alfabetización científica en la educación secundaria». Tesis doctoral. Granada: Universidad de Granada.
- VÍLCHEZ, J.M. y PERALES, F.J. (en prensa). Image of science in cartoons and its relationship with the image in comics. *Physics Education*.
- WEIDENMANN, B. (1989). When good pictures fail: An information-processing approach to the effect of illustrations, en Mandl, H. y Levin, J.R. (eds.). *Knowledge Acquisition from Text and Pictures*, pp. 157-171. Amsterdam: Elsevier.
- WEIDENMANN, B., PAECHTER, M. y HARTMANN-GRUBER, K. (1999). Structuring and sequencing of complex text-picture combinations. *Europ. J. Psychol. Educ.*, 14, pp. 185-202.
- WORNER, C.H. y ROMERO, A. (1998). Una manera de enseñar física: física y humor. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), pp. 187-192.