

Necesidad de normalización en ilustración científica

Óscar Hernández-Muñoz¹ y Ana Rosa Barrio de Santos²

¹Facultad de Bellas Artes. Dpto. de Dibujo II (Diseño e Imagen). Universidad Complutense de Madrid (España). oscarbernandez@art.ucm.es

²Facultad de Óptica y Optometría. Dpto. de Óptica II (Optometría y Visión). Universidad Complutense de Madrid (España). arbarrio@ucm.es

[Recibido en marzo 2015, aceptado en julio de 2015]

El objetivo de este estudio fue identificar las nociones o conceptos transmitidos habitualmente mediante símbolos en las ciencias de la vida, así como determinar cuáles son las combinaciones de signos más utilizadas actualmente para expresar dichos conceptos y establecer cuáles de ellas se podrían considerar consolidadas por el uso repetido. Con dicho fin, se analizó una muestra de 3894 figuras extraídas de aquellos tratados científicos de carácter generalista que habían sido objeto de préstamo más frecuente en las bibliotecas de las facultades de Medicina, Biología y Veterinaria. Para cada una de las ilustraciones contenidas en ellos se identificaron los diferentes conceptos que habían sido representados mediante símbolos y se organizaron en una tabla. Posteriormente se analizaron para cada uno de estos conceptos los símbolos y recursos gráficos empleados para su representación, determinando las combinaciones más prevalentes. Entre las conclusiones de este estudio cabe destacar la falta de homogeneidad en los símbolos utilizados para expresar un determinado concepto, existiendo notables diferencias entre ellos incluso dentro de un mismo tratado, lo que podría disminuir su efectividad. Por otra parte, también se detectó un uso abusivo de algunos símbolos para representar conceptos muy distintos entre sí, lo que puede conducir a una mayor ambigüedad en su interpretación. Por estas razones se hace aconsejable establecer unas normas en la utilización de símbolos en el dibujo científico.

Palabras claves: ilustración científica; representación de conceptos; símbolos; dibujo científico.

Need for standardization in scientific illustration

The aim of this study was to identify ideas or concepts usually transmitted through images in the life sciences and also identify the most commonly used combinations of signs to express these concepts and establish which of them might be considered consolidated by continued use. For this purpose, a sample of 3894 figures was analyzed. These images were extracted from the most provided scientific books in the libraries of the faculties of Medicine, Biology and Veterinary. In each illustration different concepts that had been represented by symbols were identified and organized in a table. Then we analyzed for each of these concepts graphic symbols and resources used for their representation and we determining the most prevalent combinations. Later, for each of these concepts we analyzed the symbols and graphic resources used for its representation, and the most prevalent combinations were determined. Among the conclusions of this study include the lack of homogeneity in the symbols used to express a given concept. There are notable differences between them even within a single treaty, which could reduce its effectiveness. Furthermore, overuse of some symbols to represent concepts very different was also detected, which can produce a greater ambiguity in interpretation. For these reasons it is advisable to establish rules on the use of symbols in scientific drawing.

Keywords: scientific illustration; representation of concepts; symbols; scientific drawing.

Para citar este artículo: Hernández-Muñoz, O. y Barrio de Santos, A.R. (2016). Necesidad de normalización en ilustración científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13 (1), 160-175. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18021>

Introducción

La información visual ha adquirido un especial protagonismo en los diferentes medios de comunicación de nuestra sociedad, trascendiendo a todos los campos de la actividad humana: ocio, cultura, tecnología, etc. Este fenómeno se ha puesto de manifiesto también en los procesos de transmisión de conocimientos en el mundo de la ciencia, lo que ha conllevado un incremento notable en el número y sofisticación de imágenes destinadas a la representación de conceptos en sus distintas especialidades.

Podemos considerar la Ilustración Científica como una disciplina que engloba un amplio abanico de técnicas de representación gráfica al servicio de la ciencia, incluyendo la ilustración tradicional,

la fotografía, el vídeo, las nuevas tecnologías digitales, etc. (Hodges, 2003; Tsafir y Ohry, 2001). La Ilustración Científica realiza una función fundamental en el campo de la ciencia, facilitando la transmisión de conocimiento por parte de investigadores, docentes y diversos profesionales (Hall, Bailey y Tillman, 1997). Esta disciplina ha cobrado una gran importancia para la comunicación científica, fundamentalmente gracias a su enorme potencial didáctico. Diferentes autores han indicado que las ilustraciones científicas podrían cumplir una serie de funciones cognitivas y motivadoras de gran valor en el proceso de aprendizaje. Según estos autores, las ilustraciones científicas son capaces de organizar la información y dan forma a las ideas y gracias a ellas se describen de manera aparentemente sencilla procesos de gran complejidad. Esto podría deberse a que la imagen es capaz de ofrecer directamente una idea global del proceso que describe, mientras que la lectura de un texto tiene lugar de forma lineal, lo que obliga a reconstruir mentalmente dicho proceso para obtener una visión general del mismo (Moles, 1991). Por otra parte diversos estudios apuntan a que las imágenes contribuyen a focalizar y dirigir la atención sobre los contenidos más relevantes de un texto, mejorando a su vez la profundidad de procesamiento (Levie y Lentz, 1982; Levin y Mayer, 1993; Peeck, 1993). Además, algunos estudios han demostrado que las ilustraciones son capaces de incrementar la memoria a corto y largo plazo sobre los temas tratados (Carney y Levin, 2002).

La ilustración científica posee además unas características muy particulares en relación con otro tipo de imágenes. Algunas de sus peculiaridades están relacionadas con su carácter meramente utilitario, debido al cual la creatividad debe estar siempre al servicio de la eficacia comunicativa, o, al menos, no entrar en contradicción con ella. Incluso, las cualidades estéticas de este tipo de imágenes tienen también un fin utilitario que consiste en mostrar la información científica de forma atractiva, aumentando así el interés por la materia tratada.

Otros rasgos distintivos de las ilustraciones científicas tienen que ver con la complejidad de las materias tratadas, que ha dado lugar a la incorporación de múltiples símbolos en los dibujos, con el fin de aumentar el potencial expresivo de los mismos. No obstante, la necesidad de representar ideas de elevada complejidad ha hecho que las ilustraciones científicas se hayan convertido hoy en día en imágenes de difícil interpretación tanto para los profanos como para aquellos que se inician en el estudio de cualquiera de sus disciplinas. Pese a que en algunos casos la imagen puede dar una falsa sensación de inmediatez en la asimilación de su contenido, esto no es ni mucho menos así, ya que ésta debe ser igualmente decodificada por el receptor del mensaje utilizando para ello sus conocimientos previos acerca del código empleado. Así, Mottet (1996) indica que para que se produzca la transformación de la imagen en conocimiento son necesarias ciertas condiciones didácticas y cognitivas.

En muchas ocasiones la complejidad de las imágenes no se corresponde con las competencias interpretativas de los estudiantes, por lo que sería necesario ayudarles de alguna manera a desarrollar habilidades para comprender su significado (Goldsmith, 1984; Kress y Van Leeuwen, 1990; Perales y Jiménez, 2004). Incluso algunos estudios apuntan a que cuando la complejidad de los contenidos es muy elevada, éstas pueden incluso ralentizar el proceso de aprendizaje (Jiménez, Hoces Prieto y Perales, 1997; Reid y Beveridge, 1990). Esta circunstancia se ve agravada por el hecho de que, a diferencia de lo que sucede con el lenguaje escrito, no existen diccionarios ni tratados que ayuden a comprender el código en ellas empleado. En el mejor de los casos, una nota a pie de imagen puede servir de ayuda para su interpretación, aunque en muchos casos éstas no son utilizadas pese a la ventaja que representaría su uso. Queda así en manos del usuario la tarea de desciframiento de los símbolos que aparecen en las ilustraciones, teniendo como única referencia para ello las imágenes previamente visualizadas durante el proceso de aprendizaje, y viéndose obligado la mayor parte de las ocasiones a deducir su significado por comparación.

Otra cuestión a tener en cuenta es que, en términos generales, los ilustradores carecen de unas instrucciones técnicas para codificar el mensaje científico mediante símbolos en sus imágenes. Esto es debido a que son pocas las instituciones que publican normas para la representación gráfica de conceptos científicos. Entre éstas cabe destacar la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), con sus recomendaciones para la expresión de reacciones químicas, que son un ejemplo a seguir. Así pues, al no existir prácticamente códigos ni guías en los que se indique cómo transmitir nociones científicas mediante símbolos, los ilustradores se ven obligados a basarse únicamente en los elementos gráficos empleados previamente por otros ilustradores para la transmisión de un determinado concepto, así como en su intuición y en sus conocimientos artísticos.

Por otra parte, las especiales características de la imagen científica, tales como el rigor, la exactitud o la objetividad, exigen al ilustrador dominar el uso de símbolos y gráficos a la hora de crear imágenes que reflejen fielmente los conceptos representados. Por esta razón, resulta fundamental sentar las bases teóricas que permitan en el futuro aprovechar todo el potencial de los símbolos en la imagen científica, más aún cuando nos encontramos ahora en pleno proceso de transformación de los métodos de representación gracias a la introducción de la informática en el mundo de la imagen.

Por todo lo anteriormente expuesto, se hace necesario establecer una gramática del lenguaje gráfico científico con el fin de aumentar la eficacia de la comunicación y evitar errores de interpretación que podrían llegar a ser fatales debido a la naturaleza de las materias tratadas. En relación con este asunto, numerosos tratados examinan las imágenes estáticas aisladas con el fin de describir la forma en la que éstas codifican la información (Arnheim, 2001; Dondis, 1976; Greimas y Courtés, 1982; Grupo μ , 1993; Saint-Martin, 1987; Villafañe y Mínguez, 2006). Uno de los puntos de partida suele ser la determinación de sus elementos gráficos fundamentales y las posibles combinaciones compositivas a partir de ellos. No obstante, no hay acuerdo entre los distintos autores en los esquemas teóricos propuestos sobre la imagen y, sobre todo, ninguno de estos parece tener una fácil aplicación práctica para el ilustrador científico.

La descripción de los mecanismos involucrados en la representación de conceptos mediante símbolos es un asunto de gran importancia para la transmisión eficaz de los conocimientos científicos puesto que de él depende la correcta codificación del mensaje ofrecido. Sin embargo, son pocos los trabajos que han estudiado en profundidad los símbolos y recursos gráficos empleados en dibujo científico para la expresión de nociones concretas así como las combinaciones entre los mismos. Dentro de ellos cabe destacar la tesis doctoral de Hernández (2010) "La dimensión comunicativa de la imagen científica: representación gráfica de conceptos en las ciencias de la vida". Otra referencia de gran interés es el trabajo desarrollado por Jacques Bertin en relación con la gráfica científica, quien estudió de forma exhaustiva las diferentes variables que influyen en su comprensión. Sus estudios, pioneros en esta materia, dieron lugar a numerosas investigaciones dirigidas a mejorar la representación de datos mediante gráficas (Bertin, 1983, 1988). Lamentablemente, no existe ningún tratado similar al elaborado por este autor que tome como objeto de estudio el dibujo científico y, pese a que existen numerosos libros que abordan de forma práctica las distintas técnicas y materiales empleados en ilustración científica, en estos manuales no se dice prácticamente nada sobre los posibles métodos que el ilustrador puede emplear para la representación gráfica de conceptos concretos mediante símbolos.

Teniendo en cuenta entonces la ausencia casi completa en ilustración científica de normas consensuadas para la representación de ideas por medio de símbolos, se hace necesario determinar si existen al menos unas tendencias establecidas en el uso de determinadas combinaciones de elementos gráficos como consecuencia de su uso continuado. De esta manera

se podrían establecer en el futuro unas normas de utilización que unifiquen las representaciones, evitando ambigüedades. No se trataría de protocolizar la tarea del ilustrador, sino de facilitarla, aportándole unos criterios estables para la representación de determinados conceptos de uso frecuente en diferentes materias científicas, así como también una serie de sugerencias sobre posibles formas de expresar ideas. Lo que se persigue básicamente es establecer unas normas que conduzcan en la medida de lo posible a la universalidad de la comunicación científica a través de símbolos gráficos.

El objetivo de este estudio es, en primer lugar, identificar las nociones o conceptos transmitidos habitualmente mediante imágenes en las ciencias de la vida, y, en segundo lugar, identificar las combinaciones de signos más utilizadas para expresar dichos conceptos y determinar si existe un criterio uniforme para su uso.

Material y métodos

Determinación de la muestra de estudio

El estudio se realizó sobre una amplia muestra de 3894 figuras que se seleccionaron según los criterios que se detallan a continuación.

En primer lugar, respecto al tipo de publicación, se decidió centrar el estudio en las imágenes incluidas en tratados científicos, dejando a un lado otro tipo de publicaciones. La razón para esta elección fue que este tipo de textos son el destino principal de las ilustraciones que se realizan con fines científicos y son además, junto con las sesiones presenciales, la principal vía de transmisión de este tipo de conocimientos. En segundo lugar, el trabajo se centró en aquellas disciplinas que estudian los seres vivos y, concretamente, en aquellas que poseían un carácter más generalista: Biología, Medicina y Veterinaria. Además, se restringió el campo de análisis a aquellas asignaturas impartidas en el primer y segundo curso de las citadas carreras en la Universidad Complutense de Madrid, teniendo en cuenta los planes de estudios más recientes. Esto fue debido a diferentes razones. Por una parte, era necesario acotar el número de materias analizadas, debido a la imposibilidad de abarcar su totalidad. Por otra parte, los primeros dos cursos de los estudios universitarios suponen un primer contacto de los alumnos con buena parte de las disciplinas y es en ellos donde se explican los conceptos básicos, por lo que las ilustraciones cobran una especial relevancia, tanto como complemento del texto como por sí mismas. Así, estos tratados elementales juegan un papel fundamental en la estructuración de la particular visión que los alumnos construyen sobre las diferentes ramas de la ciencia. Otra razón que se tuvo en cuenta para esta selección es que suele existir una mayor abundancia de imágenes en los textos correspondientes a las asignaturas elementales, lo que suponía una fuente más amplia para el presente estudio.

La selección de las materias concretas y de los tratados que iban a ser analizados se realizó utilizando como principal criterio de selección la frecuencia de préstamo de libros en las bibliotecas de las facultades seleccionadas previamente. Para ello, se solicitó en cada una de sus respectivas bibliotecas un informe con el listado de los libros más prestados en las diferentes disciplinas estudiadas.

Se eligieron en total nueve libros, tres de cada facultad seleccionada. Para ello, en los tres centros se anotaron cuáles eran los libros más prestados de entre aquellos utilizados en cada asignatura de primero y segundo curso. Posteriormente, se seleccionaron los que ocuparon las tres primeras posiciones en cada facultad (Tabla 1). Por otra parte, siempre se escogieron las últimas ediciones de cada tratado y se descartaron aquellos libros cuya última edición era anterior a 2004.

Se analizaron en cada uno de los nueve tratados estudiados tanto las figuras en las que la ilustración era el elemento principal, como aquellas otras en las que la ilustración quedaba integrada en diagramas (3894 figuras de las 6044 presentes en los nueve libros).

Tabla 1. Libros más prestados en las Facultades de Biología, Medicina y Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid.

Facultades	Libros
Biología	Biología celular (Paniagua, <i>et al.</i> , 2007)
	Microbiología (Madigan, Martinko y Parker, 2004).
	Zoología (Hickman, Roberts, Larson, L' Anson y Eisenhour, 2006).
Medicina	Anatomía Humana (Rouvière y Delmas, 2008).
	Bioquímica (Nelson y Cox, 2009).
	Fisiología humana (Guyton y Hall, 2007).
	Histología básica (Junqueira y Carneiro).
Veterinaria	Anatomía veterinaria (König y Liebich, 2005).
	Fisiología humana (Guyton y Hall, 2007).
	Fisiología veterinaria (Cunningham y Klein, 2009).

Datos registrados

En primer lugar, para cada tratado se apuntó el número de páginas y el número de ilustraciones para conocer la extensión de la muestra.

A partir del análisis de las ilustraciones previamente seleccionadas en cada texto se anotó en una base de datos informática creada mediante Microsoft Access 2007® cuáles eran los distintos conceptos elementales representados en ellas. Para la determinación del concepto representado, se realizó una lectura del pie de foto y, en aquellos casos en que éste no aclarase el significado del recurso gráfico analizado, se acudió al texto del tratado al que la figura complementaba para descubrir el sentido del mismo. Únicamente se registraron los conceptos cuando aparecían representados por primera vez.

Por otra parte, se registraron en la misma base de datos los diferentes tipos de recursos gráficos y las combinaciones que se habían empleado para la representación de cada concepto básico considerado.

Análisis de datos

Una vez registrados los datos anteriores a partir del análisis de las imágenes, se procedió a crear una tabla que contenía dichos conceptos. Posteriormente estos fueron filtrados para eliminar aquellos que podrían considerarse equivalentes y denominarlos con un mismo término descriptivo. Con esta finalidad, se realizaron búsquedas sistemáticas de los términos resultantes del filtrado, así como de sus sinónimos en diferentes diccionarios científicos (Diccionario de la lengua española. R. A. E., 2008; Diccionarios Oxford-Complutense: Biología, 1998; Diccionarios Oxford-Complutense: Química, 1999; Dorland: diccionario enciclopédico ilustrado de medicina, 2005).

Una vez valorados todos los términos, junto con sus sinónimos, se seleccionaron aquellos que podían definir mejor cada uno de los conceptos. Finalmente, los conceptos obtenidos tras el

filtrado se reagruparon en categorías más amplias que englobaban aquellos términos que estaban relacionados entre sí.

Por otra parte, para cada uno de los conceptos expresados en las ilustraciones se analizaron los símbolos y recursos gráficos empleados para representarlos. Para ello, se calcularon las frecuencias de aparición de las distintas formas de expresión gráfica empleadas para un determinado concepto o noción. Posteriormente, se determinó para cada concepto si existía una forma de representación claramente predominante, considerando como tal aquella que se había empleado en un porcentaje de ilustraciones mayor del 50% y cuya frecuencia relativa era además superior en un 20% a la segunda forma de representación más habitual.

Resultados

Se registraron un total de 82 conceptos diferentes representados en la muestra considerada (3894 imágenes). Una vez filtrado para eliminar todos aquellos términos que pudieran ser considerados equivalentes, quedaron 43 conceptos, que posteriormente fueron agrupados en 13 categorías. En la Tabla 2 puede consultarse el listado alfabético de todas las categorías de conceptos identificados junto con las modalidades encontradas para cada una de ellas.

Tabla 2. Conceptos representados en las imágenes analizadas y sus distintas modalidades.

Categorías	Conceptos
Acción	Catálisis Estimulación Inhibición Fuerza (presión, tracción, etc.) Otras no especificadas salvo por contexto (activación, separación, etc.)
Actividad	Actividad
Cambio morfológico	Cambio de postura Diferenciación (celular o de organismos) Degeneración (celular o de órganos) Maduración (celular o de organismos) Malignización Metamorfosis Cambio de estado físico (evaporación, solidificación, licuefacción, sublimación)
Destrucción	Apoptosis Necrosis (celular, de tejidos o de órganos) Digestión Lisis (moléculas, células, tejidos)
Diferenciación de elementos, partes, procesos, etc.	Diferenciación de elementos, partes, procesos, etc.
División	Fraccionamiento (corte, ruptura, etc.) Despiece Reproducción (celular o de organismos)

Tabla 2. (Continuación)

CATEGORÍAS	CONCEPTOS
Energía	Calor (conducción, convección y radiación) Luz (visible, ultravioleta, infrarroja, láser) Electricidad (carga o corriente eléctrica) Energía química
Filogenia	Filogenia (parentesco, cambio evolutivo, semejanza)
Morfología del modelo	Forma Color Textura Tamaño Posición en el espacio Orientación espacial
Movimiento	Desplazamiento Giro (rotación, abatimiento, traslación) Flujo (de líquidos, gases o partículas) Traspaso (secreción, absorción, penetración, expulsión, etc.)
Reacción química	Reacción química
Temporalidad	Orden temporal Duración temporal
Unión o mezcla	Fusión Mezcla Agrupamiento Acoplamiento

Las formas de expresión gráfica registradas para dichos conceptos fueron muy variadas en términos generales, por lo que no resulta posible incluirlas en este trabajo. No obstante, como ejemplo de la disparidad de combinaciones de símbolos empleadas, en la figura 1 se muestran las 17 formas encontradas para representar las nociones de “estimulación” e “inhibición” en las ilustraciones analizadas. En cada caso se muestra la variante estimuladora junto a la correspondiente inhibidora. En algunos casos la información es redundante, reforzándose el significado del signo mediante color, tipo de trazo y símbolo o texto.

En la figura 2 se reflejan las variantes halladas para la representación de una vista ampliada o en detalle de una determinada estructura.

Por último, en la figura 3 se presenta una síntesis de las combinaciones de recursos cuya prevalencia ha destacado sobre el resto en la representación de los conceptos analizados. Esta imagen resulta de interés porque ofrece una información útil para los ilustradores y puede servir de referencia para el establecimiento de unas pautas consensuadas de cara a la expresión de ideas concretas en ilustración científica.

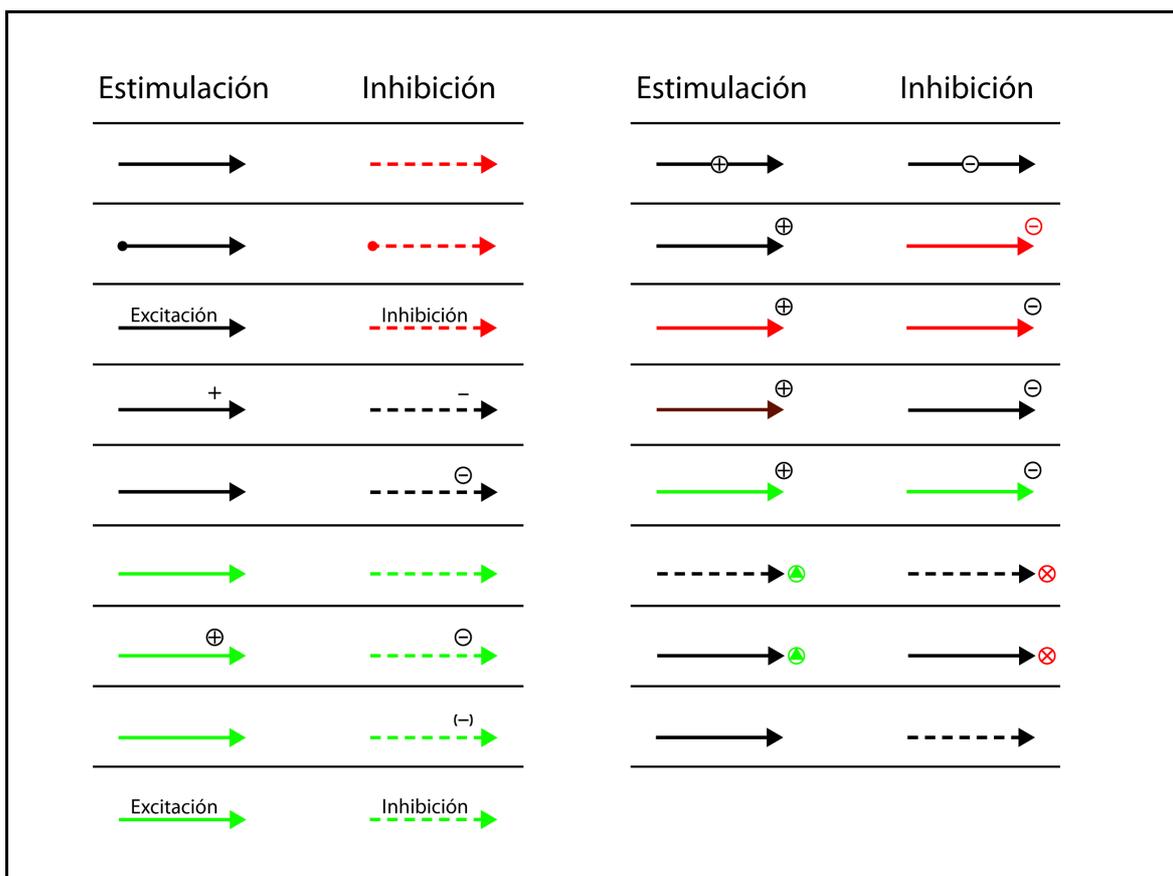


Figura 1. Diferentes modalidades de flecha identificadas en las imágenes analizadas para representar una acción de estimulación o inhibición.

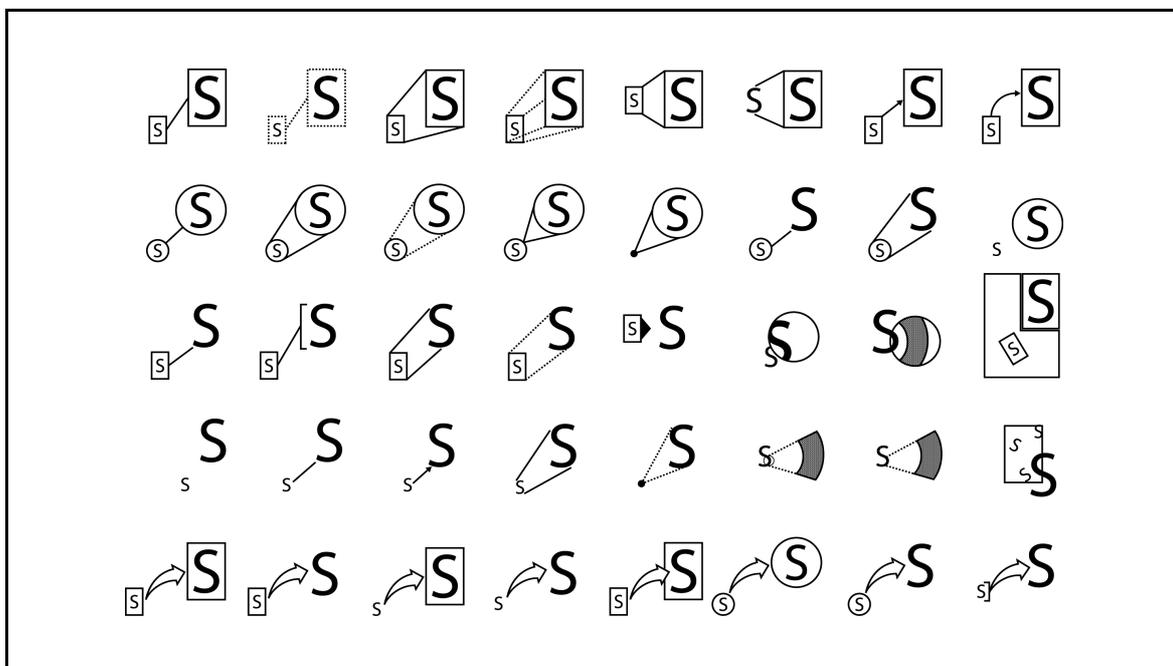


Figura 2. Principales variantes encontradas para la representación de vista ampliada.

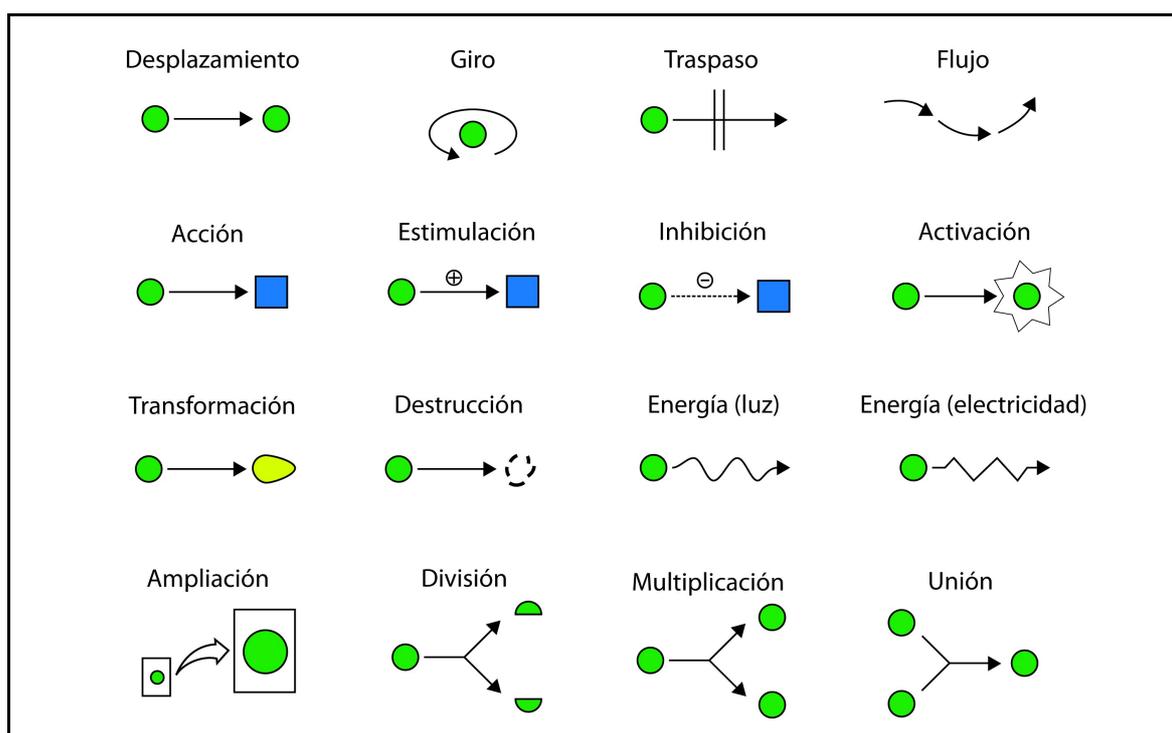


Figura 3. Combinaciones de los recursos gráficos que han demostrado estar más consolidados por su uso en las ciencias que estudian los seres vivos, según los resultados del estudio. En ella se incluyen 16 de los 43 conceptos identificados.

Discusión

En primer lugar hay que resaltar la amplia gama de conceptos identificados en las 3894 imágenes que formaban la muestra analizada en el Estudio. Estos se designaron mediante 43 términos distintos, que en la mayoría de los casos incluían diferentes modalidades, y que tras un intenso trabajo clasificatorio fueron finalmente agrupados en las 13 categorías que figuran en la Tabla 2. Dada la dimensión de la muestra examinada y la exhaustividad del análisis llevado a cabo, es posible afirmar que esta clasificación incluye buena parte de los conceptos que actualmente son representados gráficamente en las materias científicas estudiadas. Estos resultados poseen un gran interés para la ilustración científica, puesto que permiten establecer un repertorio de nociones habitualmente tratadas en el estudio de los seres vivos para las cuales se podrían consensuar unas pautas concretas de representación.

Por otra parte, resulta sorprendente la enorme cantidad de combinaciones de recursos gráficos halladas, que en algunos casos supera las 40 variantes (Fig. 3). Cada una de dichas combinaciones puede utilizarse en diferentes ilustraciones con la finalidad de aportar un matiz diferente en su significado. No obstante, es preciso tener en cuenta que la variación del recurso empleado para sugerir un determinado efecto puede crear cierta confusión en el lector, pudiendo sugerir erróneamente la idea de que se trata de conceptos diferentes. De hecho, aunque en términos generales se observó una cierta coherencia en la forma de representar un mismo concepto dentro de cada uno de los tratados analizados, con frecuencia se encontraron diferencias notables en la utilización de símbolos gráficos para expresar una misma idea dentro del mismo libro. Esto es especialmente preocupante por la dificultad añadida que supone para la interpretación de la imagen (Fig. 4).

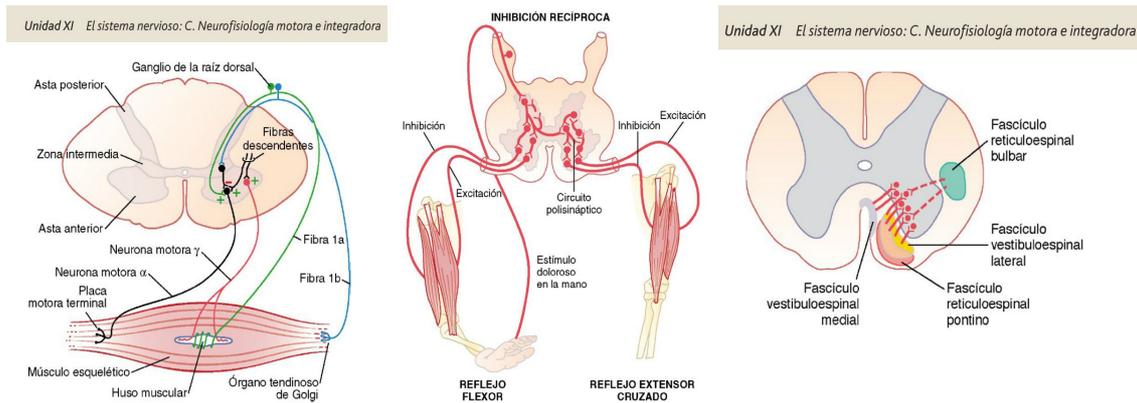


Figura 4. Representación gráfica de los conceptos de estimulación e inhibición neuronal de forma diferente en un mismo tratado. En la figura de la izquierda se utilizan los símbolos “+” y “-” para indicar respectivamente estimulación e inhibición. En la figura central la diferenciación entre ambas se hace mediante rotulación. Finalmente, en la figura de la derecha las fibras excitadoras se han representado con trazo continuo y las inhibitorias con trazo discontinuo. (Tomado de Guyton y Hall, 2006).

Más grave aún se podría considerar la existencia de ilustraciones dentro de un mismo texto en las que un mismo símbolo se ha empleado en dos figuras diferentes para expresar ideas opuestas. Afortunadamente esto se vio únicamente de manera aislada en un reducido número de casos.

Con frecuencia, se observó también que un determinado concepto había sido expresado de forma sinérgica mediante diferentes técnicas en una misma imagen, generando una redundancia en la utilización de recursos gráficos (Fig. 1 y 7). Esto puede resultar útil en algunos casos para reforzar su significado y evitar posibles ambigüedades. Sin embargo, la excesiva acumulación de información gráfica puede también originar un cierto desconcierto y la pérdida de interés del observador. Por tanto parece fundamental guardar un cierto equilibrio en la repetición de información.

Otro hecho destacable es la frecuente multiplicidad de significados que poseen algunos recursos gráficos según las circunstancias. Por ejemplo, se ha comprobado la intensa utilización de determinados recursos, tales como las flechas, con distinta intención representativa dependiendo del contexto (Fig. 5).

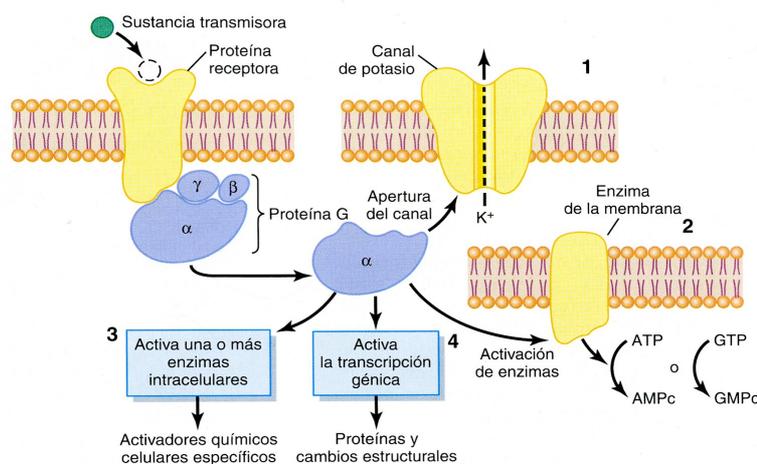


Figura 5. Representación de distintas acciones mediante flechas y texto. La unión de una sustancia transmisora (en verde) a la proteína receptora (en naranja) provoca la separación de la subunidad α de la proteína G, que posteriormente puede realizar diferentes acciones (indicadas con los números 1, 2, 3 y 4). Estas acciones están indicadas mediante flechas, aunque para identificarlas es también preciso analizar la secuencia representada. En algunos casos, las flechas representan otros conceptos, como movimiento o traspaso, lo que dificulta la comprensión de la figura (Tomado de Guyton y Hall, 2006).

Pese a que esta versatilidad puede suponer una ventaja, en ocasiones puede convertirse en un inconveniente, ya que un mismo elemento gráfico adquiere significados muy distintos, que a veces sólo es posible establecer una vez comprendido el sentido global de la ilustración. De hecho, su carácter polivalente se debe principalmente a su baja especificidad.

En muchas ocasiones se apreció en los recursos empleados la existencia de una base perceptiva que permitía su interpretación intuitiva sin necesidad de aprendizaje previo y sin problemas de comprensión derivados del contexto cultural, siendo este caso el más deseable (Fig. 6).

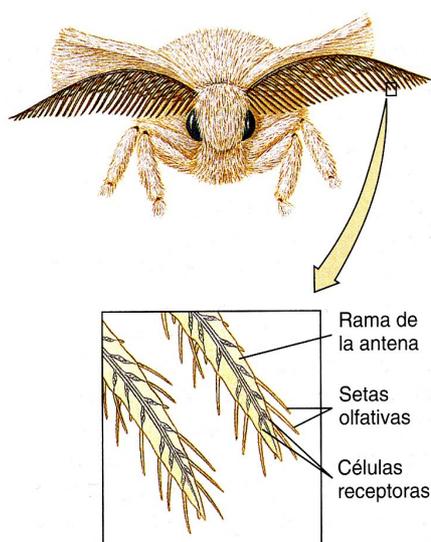


Figura 6. Vista en detalle especificada mediante dos marcos unidos por una flecha de grosor creciente, que sugiere la amplificación de un elemento de forma similar a como lo haría una lente (Tomado de Hickman *et al.*, 2006).

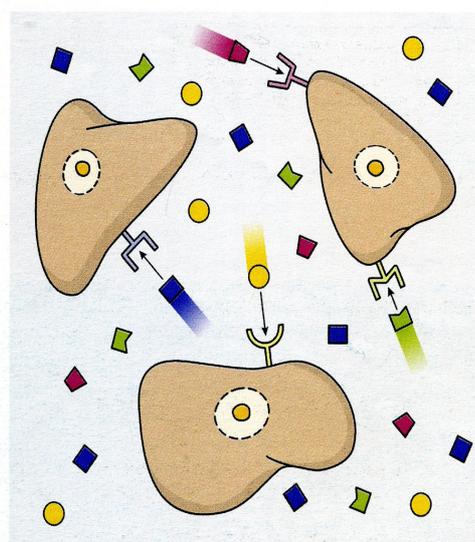


Figura 7. Representación del desplazamiento de elementos mediante el uso de estelas y flechas actuando de forma sinérgica. Dichas estelas son un recurso basado en un fenómeno perceptivo (Tomado de Junqueira y Carneiro, 2005).

No obstante, en el análisis realizado también se ha comprobado el uso frecuente de representaciones arbitrarias que deben ser previamente aprendidas para deducir el significado de la imagen. Esto obliga al lector a realizar inicialmente un trabajo extra, si bien es cierto que a largo plazo, pueden suponer una ventaja debido a su simplicidad y a su mayor objetividad en relación con las representaciones no convencionales. Muchos de estos recursos tienen un carácter abstracto y son más frecuentemente utilizados en algunas materias concretas, como la bioquímica, la biología molecular o la fisiología, entre otras.

Como era de esperar, la frecuencia con la que son representados cada uno de los conceptos en un tratado depende en buena medida de la materia que éste trata. Así, por ejemplo, los libros de anatomía se componen en buena medida de imágenes descriptivas en las que predominan las representaciones morfológicas del modelo, mientras que en los tratados de zoología, además de las descripciones morfológicas abundan conceptos como el desarrollo o la filogenia. Ésta fue una de las razones que motivó la inclusión de tratados de diferentes temáticas en el estudio, aunque tal y como se explicó en el apartado de metodología, no fue posible abarcar todas las materias de cada una de las disciplinas científicas consideradas. Por este motivo, sería recomendable en el futuro realizar estudios similares que incluyeran otras materias no contempladas en este estudio, tales como la anatomía patológica, la patología general, la cirugía humana y veterinaria, la botánica, etc.

Entre los resultados de este trabajo cabe destacar que, pese a la gran riqueza de recursos gráficos que se encuentran al alcance del ilustrador para expresar diferentes ideas, la ilustración científica a menudo se presenta como un lenguaje excesivamente restringido, en el cual únicamente se emplea una pequeña parte de los elementos disponibles. Destaca pues la escasa utilización de determinados grafismos que sí se emplean habitualmente en otros tipos de imagen. Así, por ejemplo, existen técnicas de uso frecuente en pintura, publicidad, ilustración de cómics, etc., a las que apenas se recurre en ilustración científica, o que únicamente se emplean en imágenes divulgativas o de tipo editorial. Esto, por un lado empobrece el abanico de posibilidades representativas pero, por otro, evita las ambigüedades que estos procedimientos, a menudo demasiado poéticos, pudieran generar en la imagen. Uno de los ejemplos más significativos lo constituye la representación de movimiento, prácticamente reducida al uso de flechas, mientras que en otros ámbitos se utilizan múltiples recursos con ese mismo fin (Fig. 8).

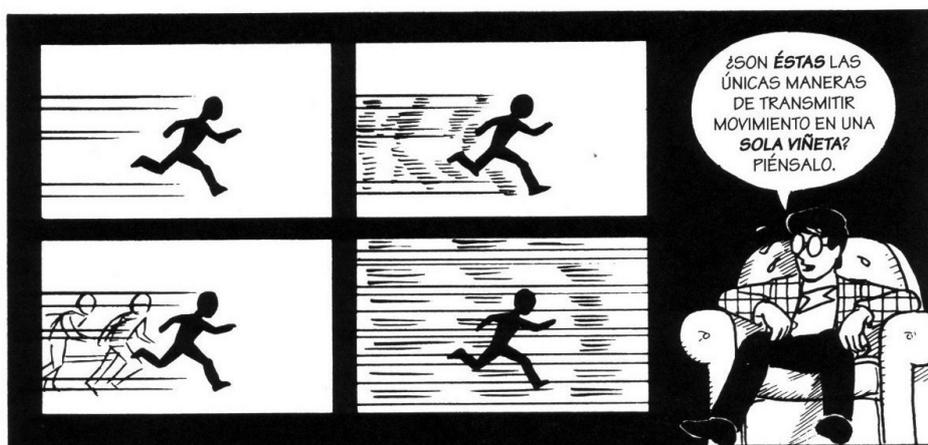


Figura 8. Algunas formas de representación de movimiento en cómics, tales como las líneas cinéticas, descomposición de movimiento, desenfoco de sujeto en movimiento o desenfoco del fondo. (Tomado de Scott McCloud, 1995).

Sin embargo, en ilustración científica la necesidad de utilizar formas de expresión objetivas y sencillas, que asimismo aporten una sensación de seriedad y rigor, hace que generalmente se rechacen aquellas que no poseen estas características. El problema es que al reducirse el repertorio de recursos, a veces es necesario utilizar un mismo elemento para diferentes aplicaciones, estableciéndose los matices de significado mediante las distintas combinaciones de estos. Así, por ejemplo, las flechas, además de ser el principal recurso para representar movimiento, como se acaba de comentar, son también empleadas para expresar temporalidad, estimulación, división, etc. Esta falta de especificidad en el uso de algunos elementos muy utilizados en ilustración científica produce frecuentes confusiones y obligan en muchos casos a aclarar su significado mediante el texto o deducirlo a partir del contexto. Por si esto fuera poco, se ha comprobado la existencia de importantes discrepancias en numerosas imágenes relacionadas con la forma de expresar algunas nociones (Fig. 4), lo que en muchos casos dificultó su comprensión. Por esta razón resulta fundamental establecer un consenso para la representación de determinados conceptos de uso constante en los tratados científicos, estableciendo unas normas básicas que reduzcan las situaciones confusas y eviten el empleo abusivo de determinados recursos, tales como las flechas (Fig. 5). Además, deberían determinarse qué combinaciones de recursos gráficos resultan preferibles para su representación, cuáles son aceptables y cuáles no deberían emplearse en ningún caso. En la elaboración de dicho acuerdo deberían participar idealmente tanto las asociaciones de ilustradores, como las sociedades científicas y editoriales, lo que garantizaría un mayor cumplimiento de las normas establecidas.

Para establecer con un criterio lo más objetivo posible las normas que deben formar parte del citado acuerdo, sería conveniente la realización de un mayor número de estudios experimentales en los que se valore la efectividad de las diferentes combinaciones de recursos gráficos de cara a la representación de conceptos concretos. Esta es una cuestión en la que la psicología perceptiva puede ser de gran utilidad. De hecho, a esta disciplina debemos gran parte de los conocimientos que poseemos acerca de nuestro sistema visual. No obstante, también sería recomendable analizar desde un punto de vista sociológico la forma en la que determinados símbolos gráficos empleados en un ámbito concreto son incorporados en nuestra memoria y reutilizados en otro entorno diferente, parasitándolo. Un ejemplo sencillo de este fenómeno puede observarse en la figura 1, que muestra los recursos gráficos identificados para representar los conceptos de estimulación e inhibición. En dicha figura, por un lado, los símbolos “+” y “-“, provienen del ámbito de las matemáticas y, por otro lado, el triángulo verde es utilizado para el botón de reproducción de numerosos dispositivos electrónicos, mientras que el aspa roja es de uso frecuente en señalética. El aprovechamiento de sinergias entre diferentes ámbitos de comunicación icónica puede ser de gran utilidad para facilitar la comprensión de las imágenes en los textos científicos. Ésta es una cuestión importante, ya que la ilustración se nutre también de símbolos que originalmente tuvieron otro uso en nuestra sociedad, y además, los rápidos cambios en las tendencias de uso de determinados símbolos hacen necesaria una adaptación constante. El ilustrador debe poseer un repertorio actualizado de los símbolos utilizados y de sus usos para no cometer errores que puedan conducir al usuario a una mala interpretación de las imágenes que elabora.

Otra cuestión interesante es la existencia de conceptos que poseen una representación más consolidada por el uso a la vista de los resultados obtenidos, frente a otros cuya forma de representación es muy variable. Además, incluso en los que no poseen una forma de expresión gráfica predominante, pueden identificarse una serie de recursos que son usados con asiduidad y que pueden ser combinados en una representación prototípica. Esto es importante de cara al posible establecimiento de normas para la descripción gráfica de determinadas ideas, puesto que aquellas estrategias utilizadas con más frecuencia tendrían más posibilidades de ser consideradas como método de preferencia para simbolizar la noción considerada que aquellas de uso infrecuente. En la figura 3 se muestra una serie de dibujos esquemáticos con una combinación de los recursos más empleados para la expresión de aquellos conceptos cuya representación estaba más consolidada. En este sentido, existen algunos conceptos cuya representación en la actualidad ya se encuentra total o parcialmente normalizada. Este es el caso de las reacciones químicas o la representación esquemática de moléculas, cuyos estándares han sido propuestos por la IUPAC. Igualmente, determinados elementos empleados habitualmente en dibujo técnico, tales como las líneas de cota, las escalas o los ejes de giro, por poner algunos ejemplos, están sometidos a una serie de normas establecidas por diferentes instituciones normalizadoras de ámbito nacional (Normas UNE españolas) o internacional (Normas ISO). En estos casos, parece lógico tratar de respetar también en ilustración científica las pautas de representación por ellas indicadas, lo cual no siempre se hace.

A la vista de los resultados del análisis también cabe resaltar que actualmente muchos de los símbolos utilizados en imagen científica tienen un significado específico que no es compartido por otros lenguajes gráficos (Fig. 9), lo que dificulta la lectura directa de la imagen por un profano en la materia. Así pues, pese a que la codificación gráfica en la ilustración científica está basada en algunos casos en fenómenos perceptivos, su comprensión intuitiva a menudo es imposible sin un aprendizaje previo. Tanto es así, que la ilustración científica, en relación con el lenguaje gráfico, podría considerarse como una jerga que se comporta de forma similar a como lo hace el lenguaje científico verbal frente al lenguaje cotidiano. No obstante, parece razonable que los nuevos símbolos gráficos se apoyen en la medida de lo posible en las experiencias visuales compartidas,

- Goldsmith, E. (1984). *Research into illustration: An approach and a review*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Greimas, A. J. y Courtés, J. (1982). *Semiótica. Diccionario razonado de la teoría del lenguaje*. Madrid: Gredos.
- Grupo μ (1993). *Tratado del signo visual*. Fuenlabrada (Madrid): Cátedra.
- Guyton, A. C. y Hall, J. E. (2007). *Tratado de fisiología médica*. Madrid: Elsevier.
- Hall, V. C., Bailey, J. y Tillman, C. (1997). Can student-generated illustrations be worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 89(4), 677-681.
- Hernández, Ó (2010). *La dimensión comunicativa de la imagen científica: representación gráfica de conceptos en las ciencias de la vida*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2010.
- Hickman, C. P., Roberts, L. S., Larson, A., L' Anson, H. y Eisenhour, D. J. (2006). *Principios integrales de zoología*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
- Hodges, E. (2003). *The guild handbook of scientific illustration. 2nd Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Jiménez, J., Hoces Prieto, R. y Perales, F. (1997). Análisis de los modelos y los grafismos utilizados en los libros de texto. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 11, 75-85.
- Junqueira, L. C. y Carneiro, J. *Histología básica*. Barcelona: Masson.
- König, H. E. y Liebich, H. G. (2005). *Anatomía de los animales domésticos : texto y atlas en color. Tomo 2, Órganos, sistema circulatorio y sistema nervioso*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
- Kress, G. y Van Leeuwen, T. (1990). *Reading Images* Geelong, Victoria, Australia: Deakin University Press.
- Levie, W. H. y Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations: a review of research. *Educational Communication and Technology*, 30(4), 195-232.
- Levin, J. y Mayer, R. (1993). Understanding illustrations in text. En B. Britton, A. Woodward y M. Brinkley (Eds.), *Learning from Textbooks*. Hillsdale: Erlbaum.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M. y Parker, J. (2004). *Brock Biología de los microorganismos*. Madrid: Pearson-Prentice Hall.
- Moles, A. (1991). Pensar en línea, pensar en superficie. En J. Costa y A. Moles (Eds.), *Imagen Didáctica. Enciclopedia del Diseño*. Barcelona: Ceac.
- Mottet, G. (1996). Les situations-images. Une approche fonctionnelle de l'imagerie dans les apprentissages scientifiques à l'école élémentaire. *Aster*, 22, 15-56.
- Nelson, D. L. y Cox, M. M. (2009). *Lehninger: principios de bioquímica*. Barcelona: Omega.
- Paniagua, R., Nistal, M., Sesma, P., Álvarez-Uría, M., Fraile, B., Anadón, R., et al. (2007). *Biología celular*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
- Peeck, J. (1993). Increasing picture effects in learning from illustrated text. *Learning and Instruction*, 3(3), 227-238.

- Perales, F. y Jiménez, J. (2004). Las ilustraciones en los libros de Física y Química de la ESO. En J. J. Gil (Ed.), *Aspectos didácticos de Física y Química*. Zaragoza: I.C.E. de la Universidad de Zaragoza.
- Reid, D. y Beveridge, M. (1990). Reading illustrated science texts: a micro-computer based investigation of children's strategies. *British Journal of Educational Psychology*, 60, 76-87.
- Rouvière, H. y Delmas, A. (2008). *Anatomía humana: descriptiva, topográfica y funcional. Tomo 1, Cabeza y cuello*. Barcelona: Masson.
- Saint-Martin, F. (1987). *Sémiologie du langage visuel*. Québec: Presses de l'Université du Québec.
- Tsafir, J. y Ohry, A. (2001). Medical illustration: from caves to cyberspace. *Health Information and Libraries Journal*, 18, 99-109.
- Villafañe, J. y Mínguez, N. (2006). *Principios de teoría general de la imagen* (1ª ed.). Madrid: Ediciones Pirámide.