

INVESTIGACIÓN EN IMÁGENES EN LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS IMÁGENES, PALABRAS Y CONVERSACIONES

Maria Rita Otero

rotero@exa.unicen.edu.ar

Grupo de Investigación en Enseñanza de las Ciencias (GIEC)

Departamento de Formación Docente.

Facultad de Ciencias Exactas. UNICEN. Argentina

Resumen

Esta presentación formula, reflexiona y discute algunos aspectos relevantes para la investigación en imágenes en la Educación en Ciencias. Se analiza brevemente el uso que históricamente se ha dado a las imágenes externas y la situación actual, caracterizada por una sustitución de imágenes por palabras. Se considera la tensión imágenes- palabras a la luz de las relaciones entre el lenguaje, el conocimiento y la cultura en la perspectiva de Maturana (1995) como un referencial relevante (Moreira, 2003) para la investigación en imágenes en Educación en Ciencias. Se describen brevemente los referenciales desde los cuales se está llevando a cabo dicha investigación, y se profundiza el marco cognitivo planteando posibles preguntas que podrían orientar investigaciones en este campo.

I. Introducción

Las representaciones externas de carácter pictórico ocupan un espacio creciente en los materiales que se proponen y utilizan para enseñar ciencias, sobre todo cuando se los compara con los utilizados hace una década, en los cuales aparecían pocas fotografías, dibujos, diagramas, gráficos, historietas, infografías (da Silva Carneiro, 1997; Martins, 1997; Otero, 2002; Otero, Moreira, Greca, 2002; Otero, Greca, Silveira, 2003; Pintó, 2002). Además de modificaciones en la cantidad de imágenes, en las tecnologías de impresión y en las tecnologías de la información y la comunicación, asistimos a cambios en la relación entre información visual e información verbal que han llegado producir una sustitución de imágenes por palabras. Ciertas preguntas surgen inmediatamente al investigador ¿qué efecto produce dicha sustitución, qué acciones suscita en el aula de ciencias? ¿desde qué paradigmas dentro del campo de la Investigación en Educación en Ciencias, se podría plantear una respuesta a dicha pregunta?

El “imaginario pedagógico” está poblado de mitos o prejuicios que influyen en la praxeología didáctica de los profesores de ciencias y en las realizaciones de los diseñadores de materiales. Unos y otros, parecen adherir a un conjunto de eslóganes referidos a las ventajas y bondades del uso de representaciones visuales para, mejorar el aprendizaje, reducir la abstracción de los conceptos científicos, facilitar la comprensión, mejorar el recuerdo, promover la imaginación, introducir los fenómenos científicos de una forma vinculada a la "vida cotidiana", colaborar en la resolución de problemas, motivar a los estudiantes y a los lectores en general, y podríamos continuar enumerando.

Nuestros primeros trabajos de investigación acerca del uso de imágenes nos pusieron cara a cara con esta mitología, y actualmente investigamos qué piensan los profesores de ciencias acerca de la imagen y cómo la utilizan en sus clases (Otero, 2002; Otero, Moreira Greca, 2002; Fanaro y Otero, 2003). Los resultados preliminares son consistentes con lo que

hemos denominado "psicología popular" acerca de la imagen y con la llamada "metáfora de la figura en la cabeza" (Otero, 2002). También se consolida la idea de que las decisiones de los profesores responderían a organizaciones didácticas espontáneas y a tecnologías didácticas muy limitadas (Chevallard, 1999) que por ejemplo, los impulsan a seleccionar los libros de texto para sus alumnos tomando en cuenta la cantidad y calidad visual de las imágenes (da Silva Carneiro, 1997).

Desde hace mucho tiempo, se suceden férreas discusiones en torno a las imágenes (internas y externas) y a la concepción que se tiene de ellas, en diversos ámbitos del conocimiento, como la Filosofía, la Epistemología y la Psicología Cognitiva. Así, en el terreno de las discusiones filosóficas que desató el surgimiento de la Mecánica Cuántica, físicos como Planck, Einstein y Schrödinger sostenían una postura realista, y pensaban que la misión de la física era proporcionar imágenes mentales del mundo físico, externo al hombre e independiente del observador (Sélleri, 1986). Mientras en las antípodas, Sommerfeld, Bohr y Pauli, por mencionar algunos, aceptaban el formalismo cuántico y ni siquiera consideraban la posibilidad de "formarse una imagen de la realidad" (ibid). La concepción de los científicos acerca de las imágenes internas y externas, así como el papel que ellas desempeñan en la generación y comunicación del conocimiento científico es un ámbito de investigación en la dimensión epistemológica y cognitiva.

Algunas investigaciones antropológicas (Berthoud, 1992; Fussell, 1976; Cook 1981) enfocadas en la educación de los llamados sectores populares, estudiaron las características de la percepción de imágenes en comunidades de Asia, Africa y América. Ellas señalan que la comprensión de una imagen depende de la cantidad de detalles significativos que resultaban reconocidos, pero también que el exceso de detalles irrelevantes o la ausencia de los importantes, resultaba pernicioso. El color, no modificaba en absoluto la comprensión, y el significado de los signos dependía de una cultura a la otra. En sociedades en las cuales transcurre mucho tiempo entre el nacimiento y el acceso de los niños a imágenes fijas, los estudios reportan el fenómeno del analfabetismo visual y no verbal, dado que ellos se hallan en contextos lingüísticos desde que nacen. Si obtenemos conocimiento en dominios especializados: lingüístico, gráfico, numérico, etc. (Karmiloff-Smith, 1992) ¿cómo no incluir a las imágenes científicas en la educación en ciencias?

En Sociología y en Filosofía de la Educación se investiga el impacto de la cultura visual en el desarrollo humano, social y científico, enfatizando aspectos semióticos, gramaticales y sociológicos (Anijar, 2000; Ellsworth, 1997; Fischman, 2001; Novoa, 2000; Rogoff, 1998). Desde la Psicología Cognitiva, algunas investigaciones muestran que ciertas imágenes externas podrían afectar la comprensión y el razonamiento (Barlow, 1990; Duchastel, 1981, 1988; Johnson-Laird, 1983, 1990, 1996; Vezin J. & Vezin L., 1988; Denis, 1996). En la Educación en Ciencias los estudios adoptan referenciales semióticos, cognitivos y didácticos (Stylianidou & Ogborn, 2002, Pintó, 2002; Testa, 2002; Colin, Chauvet & Viennot, 2002; Arnaud, 1988; Giordan, 1988; Otero, 2002; Otero, Moreira, Greca, 2002; Otero, Greca, Silveira, 2003; Otero y Moreira ,2003).

II. Imágenes Externas y Comunicación Científica

Después de la época de los egipcios y babilonios y más aún en el Renacimiento, artistas, científicos e ingenieros expresaban sus ideas con imágenes. Un dato interesante de esa época es que las imágenes no se utilizaban como simples ilustraciones, sino que

participaban de la producción misma del conocimiento como **elementos de modelización y simulación** -por ejemplo los números figurados de los pitagóricos o los dibujos de Oresme (s.XIV) para estudiar el movimiento con velocidad creciente-. Sin embargo más tarde, a partir del siglo XVII la "vulgarización científica" en general utilizó el discurso icónico como un instrumento al servicio de la **difusión y vulgarización** de las ideas de los científicos buscando hacerlas "accesibles" a las mayorías (Giordan, 1988).

Durante el siglo XIX y en buena parte del siglo XX soplaron vientos formalistas que afectaron la manera de expresar el conocimiento científico instalando cierta desconfianza hacia el uso de imágenes externas para representar conocimiento (Bachelard, 1969, 1985; Jacobi, 1988). Según Bachelard (1969) *"las experiencias demasiado vivas, con exceso de imágenes, son centros de falso interés"*, para él las imágenes son **obstáculos** que frecuentemente actúan como *inhibidores* del espíritu científico. Por razones epistémicas, las imágenes fueron rechazadas como recurso argumentativo y luego esas razones se transponían al ámbito de la enseñanza y de la comunicación del saber. Simultáneamente y aunque sólo se otorgara a la imagen un papel subordinado, los medios tecnológicos a disposición de la industria editorial no facilitaban la inclusión de representaciones externas visuales.

Esta situación cambió considerablemente a partir de la masificación de los soportes tecnológicos y del advenimiento de las tecnologías de la comunicación y de la información, que revitalizaron y multiplicaron la utilización del lenguaje visual en la comunicación. Sin embargo, los recursos icónicos continuaron usándose como formas de "traducción" y "vulgarización" del conocimiento científico, complementando o sustituyendo los instrumentos textuales de la enseñanza. Conjuntamente con la adhesión a modas y eslóganes pedagógicos, los textos han sido progresivamente transformados en libros para "ver" más que para "leer".

Eslóganes como *"una imagen vale más que mil palabras"* se interpretan a partir de la idea de que las imágenes provocan una forma de comunicación *más libre* y menos *formalizada* y que permiten al vulgarizador *concretizar las ideas científicas*, porque ellas tienen un valor sinóptico y ayudan a considerar varios elementos y sus relaciones en una misma representación. Otros argumentos señalan que las imágenes funcionan como mediadores inter-semióticos que luego se reformulan en códigos más universales. La consecuencia parece ser que algunos científicos, los editores y muchos profesores de ciencias consideran ventajoso y ¡simple! reemplazar el discurso verbal por otro imagístico. Así, poseedores de un formidable optimismo epistemológico, cognitivo y didáctico, emprenden la tarea del destierro de las palabras para ¡ahora sí! explicar sencillamente con imágenes a los niños como es la molécula de ADN, o el Gen, o las interacciones fundamentales y sus partículas mediadoras, o el Modelo Standard, o la noción de equilibrio químico o las características del metabolismo celular y los intercambios de materia y energía que tienen lugar en la célula, o la estructura fractal de ciertos procesos caóticos.

Ocultas tras buena parte de las discusiones acerca del "poder" de las imágenes versus las palabras, se esconden visiones realistas y objetivistas acerca de ¿qué es conocer? Quienes asumen la existencia de un mundo externo, neutro, independiente de nosotros como observadores encuentran en las imágenes externas y en la percepción, un cimiento firme, seguro, para obtener conocimiento y para "reproducir" en nuestra mente el mundo "como es". A continuación discutimos brevemente algunas ideas acerca del conocimiento, el lenguaje y sus orígenes biológicos que pueden orientar nuevas investigaciones educativas acerca de las imágenes.

III. *Palabras, Imágenes, y conversaciones*

Semiólogos, lingüistas, y psicólogos cognitivos destacan el desarrollo de una relación cada vez mayor entre signos icónicos y lingüísticos, que no es producto del azar; sino del surgimiento de formas de comunicación nuevas, que incluyen al conocimiento científico. La relación entre imágenes, palabras y conocimiento, tuvo mucha influencia en las discusiones de los científicos cognitivos, a la hora de plantearse qué representaciones son adecuadas para explicar el funcionamiento mental.

A pesar del efecto "inflacionario" de las imágenes, son recientes las investigaciones acerca del interés y la importancia que pueden tener en procesos educativos y culturales (Fischam, 2001). Algunas investigaciones sólo adoptaron el punto de vista del emisor, sin considerar que el lector de una imagen puede comprender algo totalmente diferente de aquello que propone el comunicador. Sin embargo, semiólogos y psicólogos han mostrado que la misma imagen puede producir significados opuestos según el texto y el contexto que la acompañe, o que ciertas imágenes características de un grupo social, carecen absolutamente de significado en otro. Ni para lo figurativo ni para lo verbal, es suficiente describir las unidades semióticas de un discurso, esperando que una codificación "correcta" asegure una comprensión adecuada. Necesitamos pensar las relaciones entre palabras, imágenes y gestos como formas del hacer y del conocer humano en una cierta cultura, para lo cual interesa reflexionar sobre el lenguaje y su relevancia en la educación (Moreira, 2000, 2003; Maturana, 1995).

Según Maturana (1995) la experiencia humana se realiza en un espacio relacional en el cual existimos. Dicho espacio se constituye a partir de la relación entre nosotros como unidades cerradas, estructuralmente determinadas (*autopoieticas*). *"Los seres vivos, incluidos los seres humanos somos sistemas determinados estructuralmente. Esto quiere decir que todo ocurre en nosotros en la forma de cambios estructurales determinados en nuestra estructura, ya sea como resultado de nuestra propia dinámica estructural interna, o como cambios estructurales gatillados en nuestras interacciones con el medio, pero no determinados por este"* (pág. 5). Los seres vivos están continuamente produciéndose a sí mismos, conservando su organización y adaptación al medio, mientras modifican su estructura. Cuando esta continua producción de sí mismos se pierde, dejan de estar en *autopoiesis*, o sea, dejan de estar vivos.

La humanidad habría surgido como una forma de vida cultural con el origen del lenguaje y a raíz de que la práctica del *lenguajear* se conservó en el transcurso de las generaciones. *"El lenguaje es un fluir de interacciones recurrentes que constituyen un sistema de coordinaciones conductuales consensuales"*. Es un proceso esencialmente recursivo en el cual las palabras son operaciones en el dominio de existencia de los que participan en el lenguaje, lo que hacemos en el lenguajear tiene consecuencias en nuestro cuerpo y lo que pasa en nuestro cuerpo tiene consecuencias en el lenguajear. Para Maturana el lenguaje es tan fundamental a nuestra existencia humana que *"somos en el lenguaje"*. Todo lo que llamamos experiencias mentales o psíquicas, surgen en nosotros como distinciones reflexivas en el lenguaje, precisamente esta capacidad de operar reflexivamente es lo que expande nuestro dominio de existencia y nuestro dominio de acciones, es decir nuestras emociones.

La condición humana ocurre según la manera en que nos relacionamos con los otros y con el mundo en el cual vivimos *" el ser humano surge de la interacción de la corporeidad humana y de la forma de vida humana, y mientras la corporeidad humana es la del homo sapiens sapiens, la forma de vida humana es vivir en conversaciones"* (pág. 50). Una cultura

es una red cerrada de conversaciones, que se conserva en la vida de los seres humanos que la realizan. Entonces si el hacer humano se realiza en conversaciones, las imágenes y las palabras sólo tienen sentido cuando forman parte de la red de conversaciones que define a una cultura. Un cambio cultural, es un cambio en esa red de conversaciones que vive una cierta comunidad. Las modificaciones en nuestro conversar, originan modificaciones en nuestro hacer y en nuestro conocer.

Participar de una cultura científica, implica ¡conversar en el lenguaje de esa cultura! y distinguir sus signos lingüísticos e icónicos, lo cual define nuestro hacer y nuestros dominios de acción. La posibilidad humana de sostener diferentes tipos de conversaciones, y de reflexionar acerca de nosotros mismos en el lenguaje amplía considerablemente dichos dominios de acción y de conversación. Cuando participamos en distintas clases de conversaciones, por ejemplo en un aula de ciencias, se espera que ellas se realicen adoptando naturalmente los signos formalizados y las imágenes conceptuales que tienen sentido en la cultura de la disciplina científica en cuestión. En este marco aproximarse al estudio de una ciencia requiere estar en su lenguaje, pero no vamos a conseguir que los estudiantes estén en el lenguaje de la ciencia si no trascendemos los símbolos y las imágenes cotidianas.

En latín *conversare* significa dar vueltas junto con otros, cuando estamos en el lenguaje utilizamos signos lingüísticos e icónicos cuyos significados son consensuales, es decir no están en las cosas sino que dependen de nosotros y cobran sentido sólo en el marco de una cultura. Si bien hace años que en el discurso educativo aparece con frecuencia la palabra constructivismo, aún se actúa la relación entre el sujeto y el conocimiento como si fuera absoluta, objetiva, lineal, simple, unívoca y esto se hace particularmente presente en el tema de las imágenes. Cualquier investigación educativa acerca del uso de imágenes, requiere estar dispuesto a sostener que la adecuación de una imagen o discurso visual a cualquier proyecto educativo o cultural depende esencialmente de quien la lee y de las conversaciones en las cuales participa. Las ideas de Maturana, tienen consecuencias fuertes para la educación y también para el ámbito específico de las imágenes, sus ideas sacuden nuestros cimientos realistas y socavan la ilusión de que las imágenes del mundo lo muestran "como es", cuando en realidad lo que percibimos e interpretamos de una imagen depende de cómo somos nosotros.

Estos comentarios se iluminan cuando desde la noción de determinismo estructural, que para Maturana (1995) caracteriza la forma de nuestro operar como seres vivos. Todo nuestro conocimiento, nuestra percepción y las respuestas que damos a las perturbaciones de aquello que distinguimos como el medio externo, dependen de cómo nosotros somos y no de lo que está "afuera". El medio solo "gatilla" cambios estructurales en nosotros, pero no instruye los cambios que experimentamos, somos nosotros en nuestro operar como unidades determinadas por su estructura los que establecemos qué estímulos son perturbaciones para nuestro sistema y cuales no. Así, la cognición se interpreta no como conocimiento de un mundo objetivo externo, cuya existencia es independiente de nosotros, sino como un acoplamiento estructural entre el medio y nosotros. ¡Vivir es conocer! Al nivel humano, el lenguaje crea al observador, quien es capaz de hablar de las distinciones que realiza en su medio y que por sus interacciones consensuales con otros seres humanos especifica un mundo de objetos o "*trae un mundo a la mano*". Las imágenes y lo que interpreta de ellas el observador son traídas con ese mundo.

Según Maturana, somos humanos en el lenguaje y lo que no se da en el lenguaje ¡no es humano! "*El enorme compromiso estructural actual de nuestro sistema nervioso, de nuestra*

laringe, de nuestro rostro, así como de otros aspectos de nuestro cuerpo, con el habla como nuestro modo mas fundamental de estar en el lenguaje, indica que el lenguajear sonoro tiene que haber comenzado hace varios millones de años, entre dos y tres" (pág.32) . A la vez todo hacer humano se da en una emoción, el conversar surge en el entrelazamiento del emocionar y del lenguajear. Somos seres constituidos por y para la palabra y el lenguaje. Quiero insistir en que somos seres eminentemente verbales (Moreira, 2002, 2003; Maturana, 1995; Ausubel, 1960). Entonces ¿qué sentido tiene pensar sobre imágenes, prescindiendo de palabras, o en oposición a ellas?

Este es un segundo punto para destacar: Una imagen no vale nada, si no integra una conversación, es decir que revitalizar el uso de imágenes en la enseñanza parece imposible, sin revitalizar un aspecto esencial a nosotros como seres humanos, el lenguaje verbal, la palabra, las emociones y las conversaciones.

IV. *Imágenes e Investigaciones*

En los ámbitos especializados la imagen tiene detractores y defensores ¿Qué argumentan los primeros? Ellas son una distracción para el lector, no son aptas para comunicar conocimiento -en la medida que no se les puede asignar un valor de verdad- y su carácter polisémico sólo complica la comunicación. Como las imágenes desbordan de sentido, están llenas de alusiones, de sobre-entendidos y en consecuencia permiten no una, sino múltiples lecturas y en consecuencia carecen de la sencillez y transparencia que se les atribuye. Desde esta posición las imágenes se ven como un obstáculo para la educación científica y ¡para la ciencia también!

Los defensores destacan el papel motivador, estético, valorizan la importancia de las imágenes en la comprensión y en el aprendizaje de un mensaje lingüístico, subrayan el hecho de que el recuerdo de materiales verbales mejora cuando se utilizan imágenes externas y hasta consideran que por su carácter analógico, motivador, tendrían la capacidad de hacer conocer "directamente" "de un solo golpe" por encima de las barreras culturales. Como las imágenes desbordan de "analogía" ¿no serían acaso un doble que no puede sino recordar al original, constituyendo una representación de "lo real"?

En la Investigación en Educación en Ciencias, el interés por las imágenes externas y su utilización es relativamente reciente y se plantea desde enfoques diferentes aunque complementarios. En investigaciones como la nuestra se enfatiza una visión cognitiva (Otero, 2002; Otero, Moreira, Greca, 2002; Otero, Greca Silveira, 2003) y en otras, prevalece una mirada semiótica (Pintó, 2002; Ogborn, 2002; Viennot, 2002). Voy a tomarme la licencia de llamar al primer enfoque la versión optimista, porque tengo la impresión de que dichas investigaciones suponen, que eligiendo las imágenes adecuadamente, realizando experiencias de referenciación y enseñando las particularidades del lenguaje y la comunicación visual en el aula, las imágenes efectivamente contribuirán con el aprendizaje de las ciencias. Sin pretensión exhaustividad las investigaciones de base semiótica se ocupan de tres aspectos fundamentales:

- Semiología de las imágenes con relación a la enseñanza de las ciencias (gramática del diseño visual aplicada al análisis de textos)
- Referencias y funciones de las imágenes en contextos de aprendizaje (lectura de imágenes y de textos por los estudiantes).

- Imágenes combinadas con otros sistemas de signos y sus consecuencias en la enseñanza aprendizaje (sistemas de signos combinados).

Digo que nuestra visión es relativamente más pesimista, en primer lugar, porque sostiene el carácter estratégico de la comprensión y la irreductibilidad de una relación incierta y subjetiva entre la representación mental y la representación externa, apoyada tanto en los resultados provenientes del campo de la psicología cognitiva, como en los estudios sobre percepción e imaginamiento visual (Kosslyn, 1980; 1996). En segundo lugar, nuestros propios resultados de investigación indican las dificultades y el poco rédito obtenido al utilizar imágenes en diversas maneras. También el trabajo de Rodríguez Palmero (2000, 2003) dedicado a los modelos mentales de célula, ha mostrado que la llamada "imagen del huevo frito" es un obstáculo para una adecuada conceptualización de la estructura y organización celular y que dicha imagen mental se ha generado la escuela!.

Las imágenes interactúan con la estructura cognitiva del lector y pueden afectar la construcción y / o modificación de sus representaciones mentales:

¿Las imágenes podrían influir en los modelos mentales que se construyen al enfrentarse a un problema?

¿Qué papel tienen las imágenes en la modificación de los esquemas del sujeto, en la comprensión de un concepto científico, en la realización de inferencias?

¿Qué relación hay entre imágenes externas e imaginamiento mental?

¿Cuándo las personas forman imágenes mentales de conceptos científicos, es fácil modificarlas o ellas actúan como un obstáculo para nuevas conceptualizaciones?

¿Cómo se podrían utilizar las imágenes externas en una situación de enseñanza-aprendizaje, atendiendo las complejidades cognitivas que entraña la representación interna cuando se aprende ciencias?

¿Cómo se afecta -facilita, dificulta o inhibe- la construcción de modelos y representaciones mentales adecuadas, a partir de actividades instruccionales que utilizan recursos visuales externos (imágenes estáticas, animaciones, software de simulación)?

¿Qué relación hay entre leer imágenes y producir imágenes? Los estudiantes de ciencias son reacios a dibujar ¿cómo se relaciona esto con el imaginamiento mental y con la exposición a imágenes? (Otero, 2002).

V. *Imágenes mentales y Percepción*

¿Quién de nosotros no ha tenido alguna impresión subjetiva como la de "experimentar una imagen visual", en la que mentalmente "vemos" las propiedades de un objeto o mentalmente "rodamos" una escena que nos permite concluir algo que quizás ocurra, y "verlo" previamente en nuestra mente? ¿Qué está más cerca del suelo, la cola de un caballo o sus rodillas traseras? ¿Cómo se vería nuestro dormitorio si lo observamos desde el techo? ¿Un mismo resorte, oscila con mayor frecuencia cuando fue estirado diez centímetros, o veinte? ¿Cuándo oscila más rápido?

Al tratar de responder estas preguntas tenemos la impresión subjetiva de que surgen en nuestra mente representaciones parecidas a dibujos o fotografías, a partir de las cuales "vemos" las propiedades de los objetos o de las situaciones mencionadas. Las personas suelen

reportar la experiencia vívida de tener imágenes, sobre todo visuales, que se proyectan como en una "pantalla mental", en la que los objetos se pueden, activar, mantener si uno lo desea, escudriñar, trasladar y / o trasladarse a través de ellos y transformarlos de varias formas. A la luz de estos comentarios, se entiende porqué los primeros intentos de definir las imágenes fueron guiados por la experiencia perceptiva, sobre todo por la percepción visual. Hoy se asume la existencia de un estrecho paralelismo entre imagen y percepción, a tal punto que ambas compartirían al menos parcialmente, los mismos subprocesos cerebrales (Kosslyn, 1996). Sin embargo, se trata de diferentes procesos que en el nivel psicológico es necesario distinguir.

¿Para qué usamos imágenes mentales visuales? Según Kosslyn (1996) hay dos respuestas que engloban la mayor parte de las funciones cognitivas que se han atribuido a las imágenes mentales:

1. Para recuperar y hacer explícita la información almacenada en la memoria de forma implícita. Si nos preguntan ¿cuántas puertas y ventanas tiene tu casa? Es posible que antes de responder generemos e inspeccionemos mentalmente una imagen de la casa, que nos permita contar las ventanas y puertas. Pero si tenemos codificada dicha información en formato proposicional, recuperaremos esa información de la memoria sin generar ninguna imagen. Afirmar que las imágenes permiten hacer explícita la información implícita en la memoria, no significa que esta es la única forma que el sistema cognitivo tiene para recuperar información, ni tampoco hay que pensar que "guardamos" imágenes en nuestra cabeza como si fueran fotografías o diapositivas.

2. Las imágenes permiten anticipar los movimientos y los desplazamientos de los objetos, es decir las imágenes permiten realizar simulaciones mentales de situaciones físicas reales. (Vía modelos mentales)

En el modelo de imaginamiento de Kosslyn (1980, 1996) una imagen mental visual es un patrón de activación en el "buffer visual" que no fue provocada por un input sensorial inmediato. Al evocar un patrón de actividad, el buffer visual lo procesa de la misma manera, tanto si se lo evocó desde un "input" en los ojos (percepción) o si se lo generó desde la memoria (imaginamiento). Sin embargo, lo anterior no implica que el sistema perceptivo e imaginativo tengan las mismas propiedades, el imaginamiento tiene al menos tres diferencias sustanciales con la percepción que conviene tener presentes:

1. Las **imágenes mentales** se "apagan" muy rápido, a diferencia de los perceptos (mientras dura el input, uno está viendo el objeto). Es decir en la percepción el "mundo" actúa como una memoria externa.
2. Las **imágenes mentales** se "crean" por información almacenada en la memoria. Es decir el mundo externo ¡no dicta los contenidos de una imagen de una manera específica! Las imágenes mentales se generan desde una variedad de contextos y pueden no tener ningún parecido con la percepción on-line.
3. Las **imágenes mentales** son muy maleables, se pueden desplazar, rotar, transformar, mientras los perceptos no lo son!.

¿Cómo se forman las imágenes visuales? En algunos casos uno puede haber visto un objeto y retener brevemente la imagen, pero en la mayoría de los casos la imagen se genera a partir de informaciones de la memoria. Como las imágenes mentales no están en relación directa con el input perceptivo, es que podemos transformarlas.

Un punto relevante para la investigación educativa es que si bien percepción e imaginamiento pueden compartir funciones y estructuras a nivel neurológico, son procesos psicológicamente diferentes. Además es importante recordar que la percepción visual no “copia” los objetos externos, sino que deriva en un proceso interpretativo, cuyo resultado depende del perceptor y de sus conocimientos. Al cabo de ese proceso no necesariamente se origina una imagen mental. Sin embargo, la forma en que los libros y los profesores conciben a las imágenes externas, asume cierta “objetividad” de la percepción y una relación directa entre representación externa e interna, que es falsa.

VI. *El Modelo de Kosslyn*

El debate librado en la psicología por las imágenes mentales se produjo en varias etapas o fases. Los padres de la psicología dividían sus opiniones entre quienes aceptaban un pensamiento con imágenes como Wundt y quienes consideraban esto inaceptable. Las críticas de Watson y de los conductistas arrojaron a las imágenes fuera de la psicología hasta hace apenas treinta años, cuando comenzaron las primeras investigaciones sistemáticas con el trabajo de Alan Paivio. Para establecer que las imágenes mentales no son epifenómenos, se realizaron experimentos conocidos como investigaciones cronométricas, dirigidos a establecer el carácter cuasi-pictórico de la imagen mental. Es decir que las imágenes mentales pueden representar objetos y preservar las propiedades espaciales de los mismos, como las distancias métricas, y que tales propiedades espaciales afectan el tiempo de procesamiento. Las imágenes poseen límites espaciales y se “desbordan” en el procesamiento (Kosslyn, Ball y Reisser, 1978).

Otra cuestión muy investigada es la relación entre imágenes mentales y memoria ¿cómo se almacenan y se recuperan de la memoria? Durante bastante tiempo se pensó que las imágenes se guardaban como "diapositivas en la cabeza" y se recuperaban de la misma forma. Los experimentos de Kosslyn mostraron que las imágenes no se generan ni se almacenan de forma holística sino de manera secuencial, el tiempo para construir una imagen aumenta cuantos más objetos y detalles se añaden a ella. Es decir que las imágenes no se activan como las diapositivas en un proyector ni son como fotos en la cabeza. ¿Las partes de una imagen se almacenan y recuperan como unidades o totalidades de significado o lo hacen en fragmentos sin ninguna organización particular? La experimentación muestra que el sistema de imágenes tiene la capacidad de recuperar "unidades" que se encuentran almacenadas por separado en la memoria de largo plazo.

Con respecto a la generación de las imágenes, ellas se construyen tanto desde información descriptiva verbal (semántica) como perceptiva, almacenada en la memoria asociativa. El modelo de Kosslyn (1980, 1996) postula la existencia de dos clases de estructura de datos: una "matriz superficial" que representaría la imagen propiamente dicha – como la “vemos”- y una estructura profunda. Kosslyn (1980, 1996) postula procesos para operar con la imagen mental, que actúan sobre la información contenida en el Buffer visual y producen los fenómenos imaginativos de *Generación, Mantenimiento, Inspección y Transformación* de imágenes mentales.

VII. *Modelos Mentales, Imágenes mentales, Imaginamiento Físico e Imágenes Externas*

En nuestro trabajo de investigación diferenciamos entre las representaciones externas y el tipo de representación mental que ellas pueden generar, cuestionando los eslóganes de sentido común, a los cuales globalmente denominamos Psicología popular. Analizamos cómo la tendencia equivocada que asocia directamente una representación externa con su codificación interna, influye en los textos que se diseñan para enseñar (Otero, Moreira, Greca, 2002). También testamos la hipótesis de si un tratamiento tradicional, relativamente limitado a "mirar" las imágenes cuando se enseña, podía influir en el rendimiento escolar en Física, cuando se proponen situaciones nuevas que requieren explicar y predecir, y obtuvimos que el tratamiento realizado no afectó el rendimiento de los sujetos del grupo experimental, en correspondencia con nuestras expectativas y con las predicciones que podíamos realizar a partir de nuestro marco teórico (Otero, Greca y Silveira, 2002 a y b).

Al analizar las investigaciones sobre la imagen mental (Kosslyn, 1986, 1996) y las concepciones de imaginamiento mental inspiradas en las teorías usuales de la imagen, se advierte que esas teorías adoptan una formulación espacial y cinemática de las imágenes mentales, que resulta inadecuada para describir el imaginamiento físico dinámico. Esta insuficiencia ha sido señalada por Schwartz (1999) quien propone la noción de imaginamiento dinámico y "*depictive model*". Los modelos pictóricos para el imaginamiento dinámico explican como y bajo qué condiciones las personas consiguen simular "*en su cabeza*" las acciones de los objetos físicos y realizar inferencias que sólo les resultan accesibles por esa vía.

Sin embargo, no hay contradicción entre los trabajos de Imágenes mentales (Kosslyn, 1986, 1996) y los de modelos mentales. La teorías de imágenes buscan fundamentar la existencia de imágenes mentales y explicar mediante un modelo de simulación de base neurobiológica, su generación, mantenimiento y transformación, sin abordar los procesos de inferencia y comprensión. La generación de una imagen mental depende de información almacenada y la transformación, requiere conocer anticipadamente los resultados que se "verán", si esto no está ya almacenado entonces tiene que inferirse y allí se requieren procesos interpretativos que ¡trascienden a la imagen! y llaman a modelos mentales. Por eso, Johnson-Laird (1996) señala que la explicación de los experimentos de rotación mental de cuerpos de Metzler y Shepard (1974) que estudiaba aspectos funcionales de la imagen mental, no puede explicarse sin la noción de modelo mental. Es decir, o se tienen siempre en la memoria sobre las "vistas" posibles de cualquier objeto a ser rotado o se construye un modelo mental para inferir cómo se vería el cuerpo.

En este sentido la noción de modelo mental orientó una serie de estudios de caso (Otero, 2002) realizados para analizar posibles efectos de las representaciones visuales (animaciones, simulaciones y *applets*) en la representación mental. Los resultados sugieren que las visualizaciones dinámicas "on-line" de los estudiantes no fueron afectadas por el software y que tampoco se modificaron sustantivamente sus representaciones pictóricas externas como dibujos de los sistemas físicos. Al parecer las visualizaciones dinámicas ocurrirían cuando los sujetos se enfrentan a una situación que conciben como "nueva" y acerca de la cual no poseen información conceptual, ni disponen de información perceptiva para derivar la respuesta. Un dato de interés, es que las personas que experimentan una visualización dinámica o modelo pictórico, realizan gestos corporales con sus manos y su cuerpo. Lo cual nos trae de nuevo a la concepción de Maturana acerca de que conocer es hacer.

VIII. *¿De qué hablamos, cuando hablamos de imágenes externas? o ¿cómo clasificar las imágenes que se utilizan en la Enseñanza de las Ciencias?*

Actualmente son frecuentes los estudios que analizan cómo los textos presentan las imágenes en las distintas áreas del conocimiento y qué conceptualizaciones *equivocadas* podrían originar. Las investigaciones de base semiótica asumen la importancia de analizar la estructura gramatical de las imágenes que aparecen en los textos de ciencias. Pocos los estudios que adoptan una visión cognitiva y se animan a preguntar ¿es adecuado que los libros actuales sustituyan palabras por imágenes? ¿hay razones cognitivas, didácticas o epistémicas para proponer un uso más cauteloso de las imágenes?

Un problema que encontramos al analizar libros de texto (Otero, Moreira, Greca, 2002; Otero, 2002) es definir un criterio para clasificar qué tipos de imágenes aparecen en ellos. Nuestro trabajo consideró a las imágenes que aparecen en los textos según su grado de iconicidad (grado de similitud con aquello que codifican). Así en los textos identificamos:

Fotografías, que en los libros de ciencias se destinan a ofrecer una representación lo más directa posible de personajes célebres, montajes experimentales, aparatos, edificios, etc. **Ilustraciones** -ilustrar significa iluminar- o dibujos que los libros utilizan para reducir la abstracción de un texto guardando gran parecido con la situación que se proponen representar. Su diferencia icónica con las fotografías reside en el trazo manual de líneas y formas. **Historietas y Caricaturas** o dibujos que incorporan elementos icónicos y verbales - conjunciones de texto y dibujo individuales o en una secuencia- Añaden el recurso del humor y pueden contener una carga de significado adicional para el lector. **Esquemas**, que contienen notaciones más abstractas, vinculando elementos de naturaleza intermedia entre lo simbólico y lo icónico. Suelen involucrar información de carácter general, menos específico y detallado que las ilustraciones y las fotografías, también menos analógico. **Gráficas**, construidas a partir de una tabla o matriz de datos. Por ejemplo, gráficos estadísticos, mapas y gráficas relacionadas con la noción de función. Ellas suponen un alto grado de abstracción y generalización, como hacen uso de un conjunto de convenciones y formalismos, su interpretación requiere el dominio y conocimiento de nociones matemáticas específicas.

Un resultado que encontramos en los libros de Física es que aún los de las series más bajas utilizan muchos más esquemas de lo que cabría esperar. En general hallamos que los esquemas y los gráficos se tratan de una manera superficial, quizás porque se los suele considerar auto- explicativos, como sucede con el resto de las representaciones visuales externas.

Como decíamos, son interesantes los trabajos que emplean clasificaciones basadas en la estructura gramatical de las imágenes. Krees and van Leeuwen (1996) distinguen entre imágenes que tienen estructura *narrativa* (representan a los participantes en una acción, en un momento particular) y las que tienen estructura *conceptual* (representan relaciones y características fijas). Ambas pueden ser *naturalistas* (realistas) o *abstractas*. Sin embargo, si bien las imágenes utilizadas en los textos para enseñar ciencias deberían tener la intención de comunicar conceptos científicos y apoyarse en una estructura conceptual, es muy frecuente encontrar que prevalecen las que plantean una estructura narrativa.

Estudios de base semiótica realizados en Física reportan interpretaciones de los estudiantes muy alejadas de los conceptos que se pretende comunicar, a raíz de que se apoyan en la estructura narrativa de la imágenes y las leen como un cuento. Las historietas parecen ejemplos evidentes de estructura narrativa, pero si se las usa para enseñar ciencias ¿no

necesitan también una evidente estructura conceptual? En la medida que la interpretación de una imagen involucra la comprensión de las relaciones entre sus componentes, es complejo precisar cuál es la estructura gramatical unilateralmente, sin considerar al representador. De allí que algunos semiólogos como Bertin (1967) circunscriban las prescripciones gramaticales sólo a la gráficas.

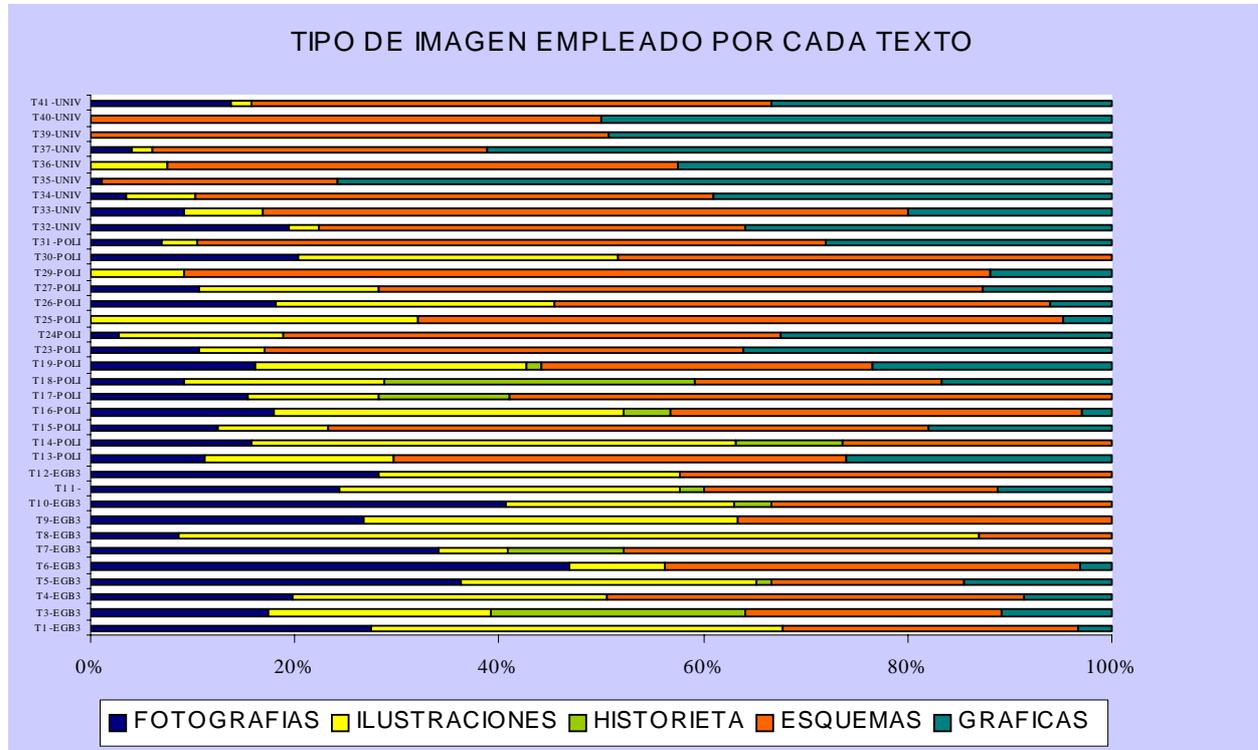


GRAFICO 1

También es posible relativizar las dimensiones naturalista (realista) - abstracto. A veces se encuentran imágenes que clasificaría simultáneamente como naturalista, narrativa, conceptual y ¡abstracta! Es decir que las representaciones imagísticas no parecen aportar a los estudiantes la sencillez y transparencia que ingenuamente se les atribuye, ellas plantean iguales o mayores dificultades y exigencias de interpretación que el lenguaje verbal.

Los trabajos de base semiótica (Stylianidou & Ogborn, 2002; Pintó, 2002; Testa, 2002; Colin, Chauvet & Viennot, 2002) señalan la preeminencia de interpretaciones narrativas que distorsionan el significado y la distinción de lo relevante. Aunque las imágenes simbólicas parecen más adecuadas, los estudiantes prefieren las concretas y las usan para interpretar las otras. Los estudiantes no leen las descripciones de las imágenes a menos que se les diga que lo hagan, aunque la lectura de los comentarios puede modificar considerablemente la interpretación. Con respecto a los profesores, los estudios semióticos destacan que no toman en cuenta las dificultades de lectura que las imágenes plantean a los estudiantes.

En nuestro trabajo con los libros de Física, encontramos que utilizan las imágenes, ignorando las dificultades de la representación interna del conocimiento. Proceden como si existiera una relación directa y lineal entre las representaciones externas y las internas. El Nivel Educativo al que se dirigen orienta la utilización de recursos visuales y la selección de representaciones imagísticas: desde las marcadamente icónicas como dibujos e ilustraciones -

ingenuamente concebidas como más sencillas- hasta las más abstractas como esquemas y gráficas. Esto es coherente con la idea de que las imágenes son más adecuadas para los niveles iniciales del desarrollo cognitivo. Los textos dirigidos a los niveles elementales de la educación media son los que realizan un uso más intensivo y a la vez menos cuidadoso de las imágenes. Con relación al plano epistemológico las imágenes se utilizan como si fueran portadoras de "verdad" lo cual las vuelve incuestionables, y con relación a los aspectos cognitivos no se distingue lo relevante de lo irrelevante y se ofrece una complejidad visual que podría complicar la interpretación en lugar de auxiliarla.

En síntesis, se detecta la ausencia de un uso de las imágenes externas que se corresponda con los resultados más recientes de las investigaciones cognitivas, y también con posturas que señalan la relevancia de la comunicación visual en las prácticas discursivas dirigidas a la comunicación y a la generación del conocimiento científico.

Uno de los aspectos que mejor expresa la poca importancia asignada a las complejidades cognitivas de la imagen -interna y externa- es la atribución de sencillez, que deriva en considerar a la imagen pertinente para los niveles iniciales de la escolaridad. Contrariamente a este eslogan pedagógico y de psicología popular, las investigaciones cognitivas (Kosslyn, 1986, 1996; Schwartz, 1999) señalan que es más una cuestión de disponibilidad de representaciones, cuál de los formatos se usa y no de simplicidad, ni de edad.

La elevada cantidad de imágenes por página que se encuentra en los textos para la enseñanza media elemental, puede no ayudar a la comprensión ni a la construcción de modelos mentales -las imágenes generan una gran demanda a la memoria de trabajo y pueden incrementar la ambigüedad-. Para interpretar y entender el discurso visual y verbal (imágenes y palabras) se construye una representación mental en la memoria de trabajo, y a partir de la interacción entre representaciones internas y externas se desarrolla un proceso interpretativo de naturaleza estratégica. Mientras los procesos basados en reglas y algoritmos garantizan el éxito (si las reglas usadas son correctas y se aplican adecuadamente, un proceso estratégico - como leer un libro de texto- no tiene esa garantía, ni proporciona una representación única del discurso (van Dijk, 1992). La integración de las imágenes científicas -no narrativas, no de la vida cotidiana- en una conversación propia de la cultura científica es un punto muy relevante ¡en esto hay que investigar!.

A partir del análisis de los libros de texto, inferimos un pequeño conjunto de concepciones de "*psicología popular*" acerca de la imagen, parcialmente fundamentadas en la "*metáfora de la figura en la cabeza*". Tales concepciones parecen subyacer al uso pedagógico de la imagen en los libros de texto y quizás también en el trabajo del aula. Las concepciones serían las siguientes:

1. Habría una relación directa entre imágenes externas e internas.
2. Las imágenes serían más "sencillas" que las palabras y se recordarían y comprenderían más fácilmente.
3. Las imágenes son transparentes, "auto- evidentes", entonces no necesitan explicación ni decodificación.
4. Las imágenes representan conocimiento "verdadero".
5. Las imágenes externas son más adecuadas para los niveles iniciales de la escolaridad (aún en la escuela media) porque se comprenden mejor que las palabras.
6. Las imágenes internas serían como "fotos en la cabeza" y se "guardan como tales".

7. Las imágenes narrativas y las naturalistas son las que más favorecen la comprensión de los estudiantes.

De los supuestos anteriores se derivan usos de la imagen que denominamos tradicionales, apoyados en la idea de que emplear imágenes -mostrarlas- mejora la comprensión y el rendimiento de los alumnos, tal como surge del análisis de los textos escolares (Otero, Moreira, Greca, 2002). Como ya señalamos, en un trabajo realizado para contrastar dichos usos, no obtuvimos diferencias estadísticamente significativas al comparar el rendimiento escolar en Física de dos grupos de alumnos, cuando en uno el profesor utilizaba muchas imágenes externas -científicas- de manera tradicional, y en el otro, muy pocas (Otero, Greca, Silveira, 2003).

La lista de eslóganes propuesta está orientando en la actualidad una investigación sobre las ideas de los profesores acerca del uso de las imágenes en la enseñanza (Fanaro y Otero, 2003).

Además investigamos la relación entre imágenes externas y visualización dinámica en Física y entre imaginamiento dinámico y producción de representaciones externas como gestos, palabras, dibujos y lenguaje matemático (Otero, 2002). Las visualizaciones dinámicas -en la medida en que sean adecuadas- podrían ser una fuente a partir de la cual se generen relaciones causales, dinámicas, que representadas en formatos manejables decaigan hacia otras formas de representación más estables (Moreira, 2002; Greca y Moreira, 2002; Otero, 2002). Una forma de saber si las visualizaciones ocurren y si son adecuadas, podrían ser los gestos de los estudiantes, razón por la cual la encontramos en la perspectiva de Maturana elementos para dar cuenta de la integración de emociones -gestos corporales- y lenguaje (verbal y visual) en las clases de ciencias. Este es un campo completamente abierto y de enorme importancia.

La problemática de las imágenes en la educación en ciencias, tendría que incorporarse en la formación de los nuevos profesores y en la capacitación de aquellos que se encuentran en servicio. La importancia de una relación entre imágenes y palabras en conversaciones que usan las imágenes y las palabras de la ciencia, también parece fundamental. Esperamos que esta apretada síntesis opere como invitación para comenzar a investigar en imágenes en sus áreas específicas.

Bibliografía

ANIJAR, K. *Teaching toward the 24 th century: Star Trek as social curriculum*. New York: Falmer Press, 2000.

BACHELARD, G. *La formación de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin, 1969. Edición Castellana: *La Formación del Espíritu Científico*, Editorial Siglo XXI, Buenos Aires, 1985.

BARLOW H. *Images and Understanding*, Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

BERTIN, J. *Sémiologie graphique*. Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales. París, 1967.

CHEVALLARD, I. L'Analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique *Recherche en Didactique des Mathématiques*, 19 (2) 221-266, 1999.

da SILVA CARNEIRO, M. H. As Imagens no livro Didático. *Atas do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências*, pp 366- 373, Brasil, 1997.

de GUZMÁN M. *El Rincón de la Pizarra, Ensayos de Visualización en Análisis Matemático Elementos Básicos del Análisis*. Editorial Pirámide, España, 1996.

DENIS M. Imagery and the Description of Spatial Configurations. pp. 128-197. En de VEGA, M., INTONS PETERSON M. J, JOHNSON-LAIRD P., DENIS M.,

MARSCHARK, M. *Models of Visuospatial Cognition*. New York, Oxford, Oxford University Press, 1996.

DUCHASTEL, P. C Roles cognitifs de l' image dans l'apprentissage scolaire. *Bulletin de Psychologie*, *XLI*, Nro. 386, 668-671, 1988.

DUCHASTEL, P. C. Illustrations in text: a retentional role. *Programmed Learning and Educational Technology*, 18 (1), 11-15, 1981.

ELLSWORTH, E. *Teaching positions: Difference, pedagogy, and the power of address*. New York: Teachers College Press. Stanford University Press, 1997.

FANARO, M. Y OTERO, M. R. Las concepciones de los profesores acerca de las imágenes y su uso en a enseñanza de las ciencias. Programa de Becas de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, GIEC. UNICEN, Argentina, 2000-2003.

FISCHAM, G. Reflections About Images, Visual Culture, and Educational Research. *Educational Researcher*, 28-33, 2001.

GIORDAN, A. Les enzymes de l'estomac concassent, pétrissent, malaxent la nourriture ou Préalables pour une didactique de l'image. *Bulletin de Psychologie*, *XLI*, Nro. 386, 672-686, 1988.

GRECA, I.; MOREIRA M. A. Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora, 2002.
http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a2.html

JOHNSON-LAIRD, P. *El ordenador y la mente*. Barcelona , Paidós, 1990.

JOHNSON-LAIRD, P. Images, Models, and Propositional Representations. In *Models of Visuospatial Cognition*, Manuel de Vega, Margaret Jean Intons Peterson, Philip Johnson-Laird, Michel Denis y Marc Marschark, Cap 3 pp 90-126, New York, Oxford, Oxford University Press, 1996.

JOHNSON-LAIRD, P. *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

KRESS, G. AND VAN LEEUWEN, T. *Reading Images: The Grammar of Visual Design*. London: Routledge and Kegan Paul, 1996.

KOSSLYN, S. *Image and Mind*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1986.

- KOSSLYN, S. *Image and Brain*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1996.
- MATURANA, H. R. *La realidad: ¿objetiva o construída? I Fundamentos biológicos de la realidad*. Anthropos Editorial, Barcelona, 1995.
- MATURANA, H. R. *La realidad: ¿objetiva o construída? II Fundamentos biológicos del conocimiento*. Anthropos Editorial, Barcelona, 1995.
- MARTINS I. O papel das representações visuais no ensino-aprendizagem de ciências. *Atas do I Encontro Internacional de Pesquisa em Ensino de Ciências*, SP, Brasil, 1997.
- MOREIRA M. A. Subversive meaningful learning. *Actas del III Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo*, pp. 33-45, Lisboa, Peniche, 2000.
- MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências*, Instituto de Física, UFRGS, Brasil, 2002. http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a1.html
- MOREIRA, M. A. Linguagem e Aprendizagem Significativa na sala de aula de Ciências Conferencia Plenaria Presentada en el II Encontro Internacional Linguagem, cultura e cognição: reflexões para o ensino, 16-18 Julio, Minas Gerais, BH, Brasil, 2003.
- NOVOA, A. (2000) *Ways of saying, ways of seeing: Public images of teachers (19-20th centuries)*. *Paedagogica Historica*, 36(1), 21-52.
- NORMAN, D. A. & RUMELHART, D. *Explorations in Cognition*. San Francisco: Freeman, 1975.
- OTERO, M. R. Imágenes y Enseñanza de la Física: Una visión Cognitiva. Tesis Doctoral. Universidad de Burgos, España, 2002.
- OTERO, M. R.; GRECA, I.; SILVEIRA F. L. El uso de imágenes visuales en el aula y el rendimiento escolar en Física: Un estudio comparativo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. España, 2003. <http://www.reec.uvigo.es/v2.n2.a1.htm>
- OTERO, M. R, MOREIRA M. A., GRECA, I. El Uso de Imágenes en Textos de Física, *Revista Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*. UFRGS, Brasil, 2002 a. http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/v7_n2_a2.htm.
- OTERO, M. R, MOREIRA M. A., El uso de imágenes externas y la visualización mental: un estudio de caso. Aceptado para apresentação oral no 4º Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - ABRAPEC, Bauru, SP, de 25 a 29 de novembro de 2003.
- PINTO R. Introduction to the Science Teacher Training in an Information Society (STTIS) project *International Journal of Science Education Special Issue*, 24 (3) pp. 227-234, 2002.
- RODRÍGUEZ PALMERO M. L. *Modelos Mentales De Célula: Una Aproximación A Su Tipificación Con Estudiantes De Cou*. Tesis Doctoral, La Laguna, Tenerife, España, 2000.

ROGOFF, I. Studying visual culture. In N. Mirzoeff (Ed.) *The visual culture reader*. New York: Routledge: 24-26, 1998.

SCHWARTZ, D. Physical Imagery: Kinematics versus Dynamics Models. *Cognitive Psychology*, 38, 433- 464, 1999.

SELLERI, F. *El debate de la Teoría Cuántica*. Alianza Universidad, Madrid, 1986.

STYLIANIDOU F. & OGBORN, J. Analysis of Science textbook pictures about energy and pupil's readings of them. *International Journal of Science Education Special Issue*, 24 (3) pp. 257-285, 2002.

TESTA, I. , MONROY, G. , SASSI, E. Students' reading images in kinematics: the case of real time-graphs. *International Journal of Science Education Special Issue*, 24 (3) pp. 235-256, 2002.

van DIJK, T. A. *Cognição, Discurso e Interação*. Editora Contexto, S. Paulo, 1992.

VEZIN J.-F, VEZIN L. Illustration, schématisation et activité interprétative in *Bulletin de Psychologie*, XLI, Nro. 386, pp. 655-666, 1988.