

## **Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma. Su aprendizaje significativo**

External representations the biological  
concepts of gene and chromosome.  
Its significative learning

**Dalia Diez de Tancredi (1) y  
Concesa Caballero (2)**

(1) Universidad Pedagógica Experimental Libertador-  
IPC. e-mail tancredi10@cantv.net

(2) Universidad de Burgos. España.  
e-mail concesa@ubu.es

### **RESUMEN**

*La investigación forma parte de un proyecto más amplio centrado en la formulación de elementos para construir fundamentos teóricos y metodológicos a partir de la investigación en la enseñanza de la Biología, con aplicación en el desarrollo de materiales instruccionales de diversos tipos que permitan tratar de lograr el aprendizaje significativo de **gen y cromosoma** conceptos estructurantes de esta ciencia. El estudio se refiere al papel de las imágenes externas en materiales instruccionales para la enseñanza de Biología que faciliten su aprendizaje significativo.*

**Palabras clave:** Aprendizaje de conceptos; análisis de textos; materiales instruccionales; aprendizaje significativo; gen y cromosoma conceptos estructurantes de Biología

## ABSTRACT

*The investigation comprises of a project ampler trim in the formulation of elements to construct theoretical and methodologic foundations from the investigation in the education of Biology, with application in the development of instructionals materials of diverse types that allow to try to obtain the significant learning of gene and chromosome structurants concepts of this science. The study talks about to the paper of the external images in instructionals materials for the education of Biology that facilitate their significant learning.*

**Key words:** *Learning of concepts; analisys text ; instructionals materials; gene and chromosome concepts structurants of Biology*

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación de tipo documental se ubica en el campo de las imágenes externas en el área de la Psicología Cognitiva; sobre la base de un enfoque cognitivo, se considera a las representaciones externas o imágenes externas como elementos importantes para la construcción de representaciones mentales (internas) que permitan el aprendizaje significativo de los conceptos de **gen y cromosoma**, dos conceptos estructurantes de la Biología.

En el campo de las representaciones externas, existe un importante número de investigaciones sobre las imágenes externas y su función en la enseñanza de contenidos de ciencias, específicamente en relación a conocimientos conceptuales, procedimentales y actitudinales. Es así como se reconoce su papel para comunicar ideas científicas y en la construcción del conocimiento; se les considera elementos importantes que van más allá de ser simplemente ilustraciones, auxiliares o como ayudas para favorecer la memorización de contenidos, la focalización de la atención y la motivación, entre otros (Alfonso, Vellar y Martins, 1999).



*Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma.  
Su aprendizaje significativo*

---

Según Martins (1997) las imágenes externas en materiales instruccionales como los libros de texto de ciencias tienen un papel central, señalando que existen tres categorías de este tipo de representaciones: las que favorecen las clasificaciones, las que permiten el análisis y aquellas que se usan con propósitos narrativos. Sus funciones se relacionan con el contenido verbal en que pueden introducir el contenido; orientar al lector sobre el contenido; o pueden ser consideradas como el contenido en sí (Martins y Cassab, 2001).

En relación al uso de las imágenes externas en distintos tipos de materiales con fines instruccionales, Da Silva Carneiro (1999) señala que en los últimos años se ha tratado de averiguar el papel que ellas tienen en la enseñanza de las ciencias, dichas investigaciones se organizan de acuerdo con la función que pueden tener para lograr aprendizajes significativos.

También hay estudios que muestran que la selección que hace el profesor sobre determinados materiales se basa fundamentalmente en el número de imágenes externas que contienen. Pareciera que la selección de los mismos se basa en número de imágenes externas, aunque en el aula muchas veces ni siquiera se las explore. Por otra parte, las empresas editoras utilizan cada vez mayores recursos económicos y tecnológicos para producir materiales con gran número de imágenes externas. Otros autores plantean que las representaciones externas pudieran ser un obstáculo en lugar de ser recursos para aprender (Alvarenga, 2001; Bachelard, 1948).

En la investigación sobre imágenes externas existen dos problemas centrales: uno se refiere a los efectos que tienen en el aprendizaje y el otro a su análisis desde una perspectiva funcional, es decir, en términos del papel que desempeñan en relación con la información verbal en un texto.



En este último sentido, el análisis de las imágenes externas ha permitido elaborar varias tipologías, entre las que se destacan aquellas que consideran el tipo de diseño y otros atributos, consideradas como: realistas (representativas), analógicas (implican similitudes) o lógicas (como los diagramas) (Otero, Greca y Da Silveira, 2003).

Para los educadores y especialmente en el campo de la formación de profesores, es importante poder contar con herramientas que les permitan seleccionar, elaborar y evaluar diferentes tipos de materiales con y sin imágenes externas (en papel, electrónicos, audio visuales, entre otros), de manera que su decisión se base tanto en el papel que juegan las imágenes externas, como en su organización en las secuencias de aprendizaje, todo ello con la intencionalidad de lograr el resultado esperado. Además, se debe considerar cuál sería su papel en la construcción de las representaciones mentales (internas) mientras el sujeto aprende.

En la enseñanza de la Biología, los materiales instruccionales se usan para tratar de lograr el aprendizaje y en ellos el uso de representaciones externas es frecuente pues se usa para presentar información a los estudiantes, así como para facilitar la comprensión de conceptos científicos estructurantes como **gen y cromosoma**. En los materiales instruccionales se presenta el contenido científico a través de información verbal y mediante el uso de imágenes (Del Carmen y Jiménez, 1997) donde los dibujos, esquemas, gráficas y fotografías ocupan un papel importante por la naturaleza de su contenido, ya que muchas veces sirven para mostrar hechos, fenómenos y estructuras que no se pueden observar directamente. Además, cumplen funciones específicas al facilitar la comprensión de conceptos, sin embargo, ocurre que la incorporación o no de determinadas imágenes externas en los materiales se lleva a cabo con escasa intervención de los autores y no es común considerar los resultados de investigaciones acerca del papel que ellas pudieran tener en el aprendizaje (Del Pino, Peines y Eichler, 2001).



*Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma.  
Su aprendizaje significativo*

---

Como investigadoras en el área de las representaciones mentales consideramos necesario conocer el papel que tienen las imágenes externas que habitualmente usan docentes y estudiantes durante la enseñanza y el aprendizaje, para posteriormente tener elementos que permitan identificar e interpretar qué representaciones mentales construyen los estudiantes cuando aprenden conceptos de ciencias, ya que al tratar de averiguar sobre dichas representaciones internas, es posible que los estudiantes expresen en sus dibujos, esquemas, o mapas algunas incidencias de las imágenes y otras representaciones externas que recibieron durante la enseñanza.

**Las representaciones externas del tipo de imágenes en los materiales instruccionales de ciencias**

En los materiales instruccionales de Biología, las representaciones externas siempre han ocupado un papel central como parte de su contenido, por ejemplo, en los libros de Zoología y Botánica de distintas épocas se incluyen cada vez más fotografías, diagramas, dibujos que pretenden sintetizar y apoyar la información escrita (Da Silva y Frateschi, 1999). Las representaciones externas en los materiales de Biología permiten mostrar organismos, hechos y fenómenos tanto del ambiente inmediato como de aquellos a los cuales no se puede acceder con facilidad. Es así como se convierten, de cierta forma, en sustitutos de la realidad permitiendo al observador tener la percepción del hecho representado y una vivencia que no le sería posible tener directamente (Gibson, 1954). Tal es el caso de aquellas que se refieren a seres vivos y estructuras que requieren de aparatos de alta precisión para ser observadas y por lo cual se emplean imágenes externas que se obtienen de instrumentos como el microscopio electrónico, las lupas estereoscópicas, entre otros.

Podríamos decir que su uso es necesario para observar la ubicación celular y estructura de un cromosoma, presentar posibles organizaciones y disposición de los genes, entre otros.



---

**Algunas Investigaciones sobre el papel de las imágenes externas utilizadas en los libros de texto y guías de laboratorio para la enseñanza de las ciencias**

Los materiales instruccionales que más se emplean en la enseñanza y el aprendizaje de la Biología son los libros de texto, los cuales se consideran como fuente de información y como recurso instruccional. Las investigaciones realizadas en enseñanza de las ciencias ofrecen orientaciones para su uso, en aspectos estructurales y formales de su contenido, en cuanto a los tipos de aprendizaje que se favorecen, en relación con las distintas estrategias en las que se emplean para favorecer aprendizajes significativos en los estudiantes, entre otros (Da Silva Carneiro, 1999;. De Almeida, 1997; Camargo-Nalza, Montanhini y Gurgel, 1997; Castillo, 1997). Pero es recientemente cuando se ha orientado la atención en el papel que pudieran tener en la construcción de representaciones mentales por parte de los estudiantes mientras aprenden ciencias.

Hay autores como Bachelard que señalan que el exceso de imágenes externas en los libros de ciencias obstaculizan en lugar de favorecer, disminuyen en los estudiantes la capacidad de imaginar, siendo causa de obstáculos epistemológicos. Según este autor, la información no es por sí misma concepto ni cognición, si se carece de una conceptualización histórica y psicosocial más amplia, de un contexto, señalando que a menudo se presenta la información de modo simplista, por lo que tiende a quedarse intelectualmente corta, emocionalmente llana y demasiado obvia (Bachelard, 1948).

En la enseñanza de las ciencias, existe un importante número de investigaciones (básicamente en Física, en Química y en menor cantidad en Biología). Dichos trabajos se refieren a aspectos formales de los materiales (su organización y secuencia de los contenidos, estructura, tipos de ilustraciones, uso de gráficos), en cuanto a errores conceptuales que comunican, así como también en relación al papel de los mismos para



*Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma.  
Su aprendizaje significativo*

---

---

ayudar en la comprensión de contenidos científicos (Sánchez-Gómez, Morcillo, Sánchez-Martín y Silvan, 2002).

El interés por tratar de mejorar y actualizar los materiales dedicados a la enseñanza y aprendizaje de la Biología se evidencia también en el impulso que dan distintas asociaciones mundiales a la evaluación de los mismos y en especial para la enseñanza de contenidos relacionados con la Ingeniería Genética. En este sentido, se plantea la necesidad de mejorar y actualizar en los materiales instruccionales los contenidos de ciencias en todos los niveles educativos.

En Venezuela, al igual que en otras partes del mundo, los libros son los materiales didácticos que más se usan en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Al respecto, investigaciones específicas demuestran que los docentes de Educación Básica, principalmente, y de Educación Media emplean los mismos materiales que recomiendan a sus estudiantes para preparar sus clases (Andrés, 2002; Barboza y Diez, 1996). En ellos las representaciones externas que más se emplean son los dibujos lineales, en ocasiones dibujos sombreados y con menor frecuencia las fotografías. Además de que su incorporación se limita a mostrar y no plantean acciones para analizar la información, interpretar, etc.

Los materiales instruccionales deben aportar para que los estudiantes construyan representaciones mentales, por lo que es necesario que sean diversos e incorporar en ellos diferentes tipos de ayudas en la forma de: ilustraciones, gráficas y otras imágenes externas que faciliten la comprensión de los contenidos científicos.

A partir de sus trabajos, Otero (2002) señala que las representaciones externas poseen un papel central en la comunicación de las ideas, por lo que se aspira que las mismas sean consideradas con mucha mayor atención, de manera que sean incorporadas con fines que van más allá de ser simples ilustraciones o simples auxiliares para favorecer la memorización.



Las autoras de la investigación coinciden con Martins (1999) sobre las diversas funciones que se le atribuyen a las representaciones externas del tipo de imágenes en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, las cuales se formulan a partir de investigaciones sobre el análisis funcional de las ilustraciones incluidas en materiales didácticos impresos y electrónicos, dichas funciones se relacionan con el discurso escrito ya que:

- Pueden ser el **contenido mismo**. Por ejemplo, en los textos de Biología, la imagen del modelo de la molécula del ADN que se incorpora tanto en los libros y guías de laboratorio como en otros materiales, es en sí misma contentiva del contenido
- Se usan para **explicar el contenido** cuando ellas completan lo que se describe en el texto escrito
- Pueden ser **auxiliares** para reforzar lo aprendido teniendo un papel subordinado a la información verbal.

En desarrollo instruccional, Díaz-Barriga y Hernández (2001), señalan que las imágenes externas del tipo de las ilustraciones, fotografías y gráficas, son recursos clave en las estrategias de enseñanza del tipo pre-instruccionales, ya que permiten activar o generar conocimientos previos. Como estrategias co-instruccionales, las consideran importantes para orientar y guiar la atención y el aprendizaje, así como para mejorar la codificación elaborativa de la información. En relación con los efectos esperados en los estudiantes, las imágenes facilitan la codificación visual de la información.

Dentro de las estrategias de enseñanza para mejorar la codificación elaborativa de la información por aprender, las imágenes externas constituyen uno de los tipos de representaciones de mayor uso en: clases, programas informatizados, *software* educativo y libros de texto. Se utilizan para expresar una relación espacial esencialmente de tipo repro-



*Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma.  
Su aprendizaje significativo*

ductivo, es decir, su énfasis es reproducir o representar objetos, procedimientos o procesos cuando no se tiene la oportunidad de tenerlos en su forma real o tal y como ocurren. Pero también, las imágenes externas se emplean para tratar procesos de alto nivel de abstracción, cuando el autor hace uso de ellas para “re-presentar” con fines explicativos algunos contenidos de formulación teórica (Greca y Moreira, 1999).

Las imágenes externas se han utilizado con mayor frecuencia en las ciencias naturales y disciplinas tecnológicas y se han empleado con menor frecuencia en las áreas humanistas, en la literatura y ciencias sociales. Se recomienda que, en cualquier área del conocimiento científico para emplearlas, el docente y los autores de materiales instruccionales deberían plantearse previamente: ¿Qué imágenes externas se requiere presentar en la instrucción? (calidad, cantidad, utilidad). ¿Con qué intención? (describir, explicar, complementar, reforzar). ¿Asociadas a qué discurso?, ¿A quiénes estarán dirigidas? (características de los estudiantes, conocimientos previos, nivel de desarrollo cognitivo), ¿Qué procesos cognitivos se favorecen con determinadas representaciones externas?

A continuación, se presenta la clasificación propuesta por Jiménez-Valladares y Perales (2000) en estudios sobre el análisis de libros de ciencias en relación a la función de los segmentos del texto en los que se ubican las imágenes externas.

**Cuadro 1.** La función pedagógica de las secciones de los textos donde se ubican las imágenes

Nombre	Descripción
<i>Evocación</i>	Se hace referencia a un hecho de la experiencia cotidiana o concepto que se supone conocido por el alumno.
<i>Definición</i>	Se establece el significado de un término nuevo en su contexto teórico.
<i>Aplicación</i>	Es un ejemplo que extiende o consolida una definición.
<i>Descripción</i>	Se refiere a hechos o sucesos no cotidianos que se suponen desconocidos por el lector y que permiten aportar un contexto necesario. También se incluyen en esta categoría conceptos necesarios para el discurso principal pero que no pertenecen al núcleo conceptual.



<i>Interpretación</i>	Son pasajes explicativos en los que se utilizan los conceptos teóricos para describir las relaciones entre acontecimientos experimentales.
<i>Problematización</i>	Se plantean interrogantes no retóricas que no pueden resolverse con los conceptos ya definidos. Su finalidad es incitar a los alumnos a poner a prueba sus ideas o estimular el interés por el tema, presentando problemas que posteriormente justifican una interpretación o un nuevo enfoque. La importancia de este tipo de actividad se refiere a la "creación de diferencias" entre el pensamiento de los alumnos y las ideas que se quieren introducir.

Tomado y adaptado de Jiménez-Valladares y Perales, (2000).

El Cuadro 2 presenta una síntesis de las distintas funciones atribuidas a las imágenes externas cuando las mismas se incorporan en materiales didácticos de diversos tipos. Su contenido se ha organizado a partir de la información revisada en la bibliografía en el área y en investigaciones en el campo de la enseñanza de las ciencias. Se presenta información acerca de los autores y el año de publicación de sus trabajos, así como de las funciones cognitivas que ellos atribuyen a las imágenes externas incorporadas en los materiales instruccionales.

**Cuadro 2.** Funciones cognitivas atribuidas a las Imágenes externas según diversos autores

<b>Autor y año</b>	<b>Funciones cognitivas</b>
• Jiménez – Valladares y Perales, (2001; 2000; 1997)	Evocar, definir, aplicar, describir, interpretar, problematizar
• Díaz-Barriga y Hernández, (2001)	Describir, expresar, construir, funcional, algorítmica
• Kosslyn, (1996)	Recuperar y hacer explícita la información almacenada en la memoria
• Schepard, (1978)	Favorecer la creatividad científica
• Huttenlocher, (1978)	Razonar, solucionar problemas
• Bower, (1972)	Retener información.

*Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma.  
Su aprendizaje significativo*

---

Las diversas maneras de considerar las funciones que cumplen las imágenes externas en los materiales instruccionales del tipo de los libros de texto y guías de laboratorio se corresponden con los distintos enfoques de las teorías del aprendizaje. Actualmente, la investigación acerca del papel que tienen las imágenes externas en la enseñanza de las ciencias está influenciada por el desarrollo de postulados de la Psicología Cognitiva. Desde este punto de vista, es importante considerar los elementos que sustentan el aprendizaje a partir de la formación de representaciones mentales, tomando en cuenta la existencia de modelos mentales (Greca y Moreira, 1998; Greca, 1999).

Partimos entonces de que para aprender significativamente conceptos científicos (**gen** y **cromosoma**) y comprender el mundo biológico es necesario que los estudiantes construyan representaciones mentales adecuadas, lo cual no es un hecho simple. Partimos del punto de que la estructura representacional que cada estudiante tiene se construye principalmente a partir de la instrucción y es allí donde los materiales instruccionales juegan un papel esencial pues son instrumentos que ponen a la disposición de los estudiantes diversos tipos de ayudas como las imágenes externas.

Entre la visión de dedicar la atención a realizar investigaciones sobre el papel o efectividad de las imágenes externas en el aprendizaje y otra más cognitiva que considera el estudio de las representaciones mentales o internas que se construyen como parte del aprendizaje de determinado conocimiento, ha existido hasta ahora un vacío, por lo que recientemente se plantea la realización de investigaciones en enseñanza de las ciencias considerando elementos que puedan ayudar a explicar dichos procesos. Sus resultados pueden ofrecer elementos que permitan entender el proceso de formación de representaciones mentales para lograr el aprendizaje significativo de conceptos científicos, tomando en cuenta las imágenes externas que usan los estudiantes.

---

**Las imágenes externas, las representaciones mentales y la enseñanza-aprendizaje de las Ciencias: Una visión desde la Psicología Cognitiva**

Desde el punto de vista cognitivo, el aprendizaje es un proceso donde la información nueva que una persona recibe interactúa de manera no arbitraria con lo que ya ella conoce, dando como resultado de dicha interacción nuevos significados. Es así como, en la instrucción, lograr el aprendizaje de los estudiantes plantea la necesidad de considerar este principio cuando se procede a diseñar, seleccionar y aplicar estrategias o situaciones de enseñanza, de recursos instruccionales y de actividades de aprendizaje.

El aprendizaje es un hecho interno (mental) que involucra procesos donde la persona construye conocimientos, por lo que es importante relacionar el uso de imágenes externas que se usan en la enseñanza para favorecer este complejo proceso mental e interno al sujeto que aprende. Para tratar de lograr el aprendizaje se requiere conocer cómo las personas re-presentan (volver a presentar) internamente el mundo externo y cómo representan las informaciones que reciben. Siendo las imágenes externas parte de esas que se usan para formar representaciones internas se han elaborado algunos modelos con posibilidades para ayudar a tratar de comprender esta complejidad (Moreira, 2002; 2000; 1999; 1997; 1996).

Es por ello que hoy en día, en la enseñanza de las ciencias, se realizan estudios para la búsqueda de un marco teórico amplio que permita describir los procesos cognitivos vinculados al aprendizaje. Después de una década de estudios en torno al cambio conceptual, sin los resultados esperados, cobran fuerza los referentes teóricos como la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson- Laird (1983) y que enfoca el análisis en las representaciones de carácter analógico: modelos mentales e imágenes (Otero, 1999; Otero, Moreira y Greca, 2002).

*Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma.  
Su aprendizaje significativo*

---

Para describir y analizar las representaciones del tipo de las imágenes externas que se incorporan en los libros de texto, guías para el trabajo de laboratorio y otros, dirigidos a la enseñanza de la Biología, es necesario considerar tanto sus aspectos formales y semánticos como el papel que ellas juegan en el aprendizaje de conceptos. En cuanto a los aspectos formales se considera ¿cómo es su diseño, la manera en que se disponen a lo largo del contenido?, etc. El análisis formal de las imágenes, como representaciones externas, debe ser atendido tanto por el autor, el diseñador gráfico, el editor, como por el profesor y el investigador en enseñanza de las ciencias. El mismo puede realizarse sobre las características particulares de cada imagen, sobre el conjunto de las representaciones externas, así como la relación que ellas tienen con la información verbal contenida en un texto.

Existen convenciones gráficas universales que orientan la elaboración de un material instruccional con imágenes externas. Dichas normas (por ejemplo: el buen uso de la perspectiva, el orden, la dirección habitual de la lectura, el uso adecuado del color, entre otros) pretenden facilitar su lectura. Además, si las imágenes externas se utilizan para tratar de ayudar a la comprensión del contenido, es importante tener en cuenta el tipo de imagen, su ubicación, la frecuencia en que aparecen, cómo es el uso de leyendas que las acompañan, el uso de texto dentro de los esquemas, en qué partes del texto las incorporan y cuál es su función o finalidad.

En relación con los aspectos semánticos, el análisis tiene que ver con el significado que las mismas tienen para la persona que interactúa con ellas. Es decir, la participación activa de la persona a quien la imagen externa proporcionará determinada información y que dependerá de lo que esa persona tiene en su mente para emplearlas con un fin determinado, de acuerdo a la Psicología Cognitiva (Greca, 1999).

Difícilmente todos los aspectos o dimensiones pueden tomarse por separado cuando se intenta profundizar en el estudio de las imágenes externas. En un estudio de este tipo, de acuerdo a Perales y Jiménez

(2002), es evidente la presencia del carácter de interdisciplinariedad ya que se debe abordar desde diversos puntos de vista: la semiótica, el diseño gráfico, el campo de la publicidad, la psicología, la neurociencia, etc.

Al tratar de investigar sobre el aprendizaje de contenidos científicos como **gen** y  **cromosoma**, es importante sustentarse en el tipo y papel que tienen las representaciones externas del tipo de las imágenes, considerando su función en dicho aprendizaje. Razón por la cual es fundamental hacer referencia no solamente a las representaciones externas del tipo de imágenes, sino también a la existencia de representaciones mentales (internas a la persona) en el proceso de construcción del aprendizaje y por lo que en un proyecto más amplio se deben investigar sobre ellas, sus características y potencialidades para el aprendizaje de determinado tema.

### **Las imágenes como representaciones externas facilitan la construcción de representaciones mentales internas**

La imagen externa no existe sin la presencia del observador, ya que es él quien la dota de significado (Deforge, 1991); a lo largo de la historia se han atendido distintos énfasis por considerar al papel de las imágenes mentales en el pensamiento. Ya Aristóteles admitía la existencia de un pensamiento con imágenes y mucho después en la historia, Bruner y colaboradores (1956) plantearon que uno de los tres sistemas de representación en el pensamiento es el icónico y posteriormente Piaget asignó un estatus al pensamiento figurativo por poseer una capacidad transformadora y anticipadora (Piaget, 1980 en Perales y Jiménez, 2002).

En este mismo orden de ideas, la Psicología de la Gestalt concedió por primera vez a la percepción una dimensión importante en la adquisición del conocimiento, destacando el papel consciente de las personas en la organización de la percepción. Así la Psicología de la Gestalt apor-

*Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma.  
Su aprendizaje significativo*

---

tó reglas útiles que se emplean hoy en día en el diseño gráfico para mejorar los procesos de interpretación de las imágenes, mediante el concepto de pregnancia: ... “todo objeto que sea percibido lo hará adoptando la forma más simple posible”...

En este principio derivado de la Gestalt, se ha afianzado en el diseño gráfico y es valioso al analizar una ilustración concreta desde la perspectiva de su utilidad en la comunicación. Tal es el caso de recomendar el uso de ilustraciones que faciliten la percepción de las formas significativas en detrimento de los aspectos secundarios de la imagen.

En síntesis, los enfoques actuales consideran que el conocimiento humano es más que una simple impresión en la memoria del mundo exterior. En oposición a las teorías del aprendizaje asociacionistas, el papel activo de los sujetos en la comprensión se plantea en la noción de representaciones mentales, entre las cuales se encuentra el modelo mental propuesto por Johnson-Laird en 1980, referido a una representación mental (interna al individuo) que elabora la persona cuando interacciona con textos, imágenes o combinaciones entre ambos (representaciones externas). Los modelos mentales incluyen datos procedentes del exterior, conocimientos previos y expectativas del sujeto, dando lugar a representaciones dinámicas en la memoria de trabajo (Johnson-Laird, 1983).

En este mismo orden de ideas Zimmer (1994) señaló que existe coordinación entre la información verbal y espacial a la que se enfrenta un sujeto, y que hay diferentes sistemas cognitivos especializados en el procesamiento de la información verbal y no verbal. La activación de uno u otro sistema depende de la tarea concreta que debe hacer el lector, de allí que la incorporación de imágenes externas en los materiales instruccionales debería justificarse por su idoneidad para suministrar información espacial. Esto no quiere decir que no se pueda describir verbalmente la información espacial para facilitar un modelo mental. Además, existen evidencias de que la misma puede representarse verbalmente en el sistema de memoria espacial.

De la misma manera Glenberg y Langston (1992) sugieren que las imágenes externas que se emplean en los materiales instruccionales favorecen en los lectores la construcción de un modelo mental mientras leen, contribuyendo a mejorar la comprensión del texto. Así la comprensión y memorización a largo plazo estarían determinadas parcialmente por el texto, las ilustraciones y las inferencias generadas por el sujeto a través del modelo mental que construye durante la lectura que realiza, para lo cual también es clave la participación de los conocimientos previos del lector activados a lo largo de ésta.

Otro aporte importante a considerar en cuanto al papel de las imágenes externas en el aprendizaje es la teoría de la doble codificación de Paivio (1986), la cual es tradicionalmente reseñada en las investigaciones en este campo por su fundamental aporte en la interpretación de las imágenes. Este autor indica la existencia de dos sistemas de codificación de la información en la memoria a largo y mediano plazo: una se refiere a la codificación de representaciones externas del tipo simbólico y el otro a las representaciones externas del tipo pictóricas.

Los aportes que hace la Psicología Cognitiva al estudio de la construcción de representaciones mentales y del papel que tiene en dicho proceso el uso de imágenes externas, hacen posible señalar el consenso de los especialistas en el área de la Ciencia Cognitiva, en cuanto a que la mente trabaja con representaciones mentales: reglas, conceptos, imágenes, analogías. Dichas representaciones son computacionales, ya que las personas operan sobre las representaciones mentales mediante procesos que generan alguna acción.

Según Glenberg y Langston (1992)... “una representación mental es cualquier notación, signo o conjunto de símbolos que representa (vuelve a presentar) algún aspecto del mundo externo o de nuestra imaginación, en su ausencia...”

*Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma.  
Su aprendizaje significativo*

---

Sobre este aspecto Johnson-Laird (1996) señala que las proposiciones, las imágenes mentales y los modelos mentales son representaciones internas con funciones y estructuras diferentes, la teoría de los Modelos Mentales recupera los aspectos analógicos del pensamiento los cuales tienen un importante papel en la manera de hacer inferencias, permite dar cuenta de los errores de razonamiento y del pensamiento racional para la comprensión del mundo. En este sentido, comprender implica elaborar un modelo mental y razonar es manipular los modelos mentales para extraer conclusiones. ... “el razonamiento humano depende de los modelos mentales que se construyen a partir de estas representaciones proposicionales...” (Johnson-Laird, 1996: 123).

De manera similar Greca (1999) señala que las personas captan el mundo exterior construyendo representaciones mentales, es decir vuelven a re-presentar internamente hechos, fenómenos o situaciones que ocurren en el mundo exterior, en este sentido:... “los individuos perciben, piensan y actúan sobre el mundo basándose en las representaciones mentales que tienen sobre él”... (Greca, 1999).

Podemos decir entonces, que las representaciones pueden ser *internas* (tal como las referidas anteriormente) y *externas* como las fotografías, esquemas y proposiciones lingüísticas, éstas últimas son imágenes que representan el mundo desde la óptica de la externalidad, es decir, como sustitutos de la realidad. Greca (1999) señala que las representaciones externas se pueden organizar en simbólicas o lingüísticas y pictóricas o analógicas; las representaciones simbólicas tienen como característica fundamental la relación entre el signo lingüístico y su representación es arbitraria, mientras que las analógicas se caracterizan porque su estructura se asemeja al mundo. Existen aspectos característicos que permiten diferenciar ambos tipos de representaciones externas.

Según Thargard (1996) el aspecto central de la Ciencia Cognitiva es tratar de explicar cómo las personas emplean varios tipos de pensamiento. La comprensión de cómo la mente trabaja es importante para

diferentes tipos de actividades; por ello los educadores necesitan conocer la naturaleza del pensamiento de los estudiantes, con el fin de preparar mejores elementos que favorezcan su aprendizaje. Sin embargo, el estudio de la mente no es fácil, pues no es posible ver directamente cómo ella trabaja.

El conocimiento en la mente consiste de representaciones mentales, tales como: reglas, conceptos, imágenes y analogías. Las personas tienen procesos mentales que operan sobre las representaciones mentales para producir alguna acción, de la misma manera, para complementar los experimentos psicológicos sobre razonamiento deductivo, formación de conceptos, imágenes mentales, analogías y solución de problemas, los investigadores han desarrollado modelos computacionales que simulan aspectos de la ejecución humana. Diseñando, construyendo y experimentando con modelos computacionales se ha logrado proponer un método central de inteligencia artificial que enlaza la computación con sistemas inteligentes (Díez, 2002).

Por su parte Moreira (2000) propone que se debe considerar las representaciones mentales y su papel en la enseñanza y el aprendizaje, haciendo uso de los aportes de la Psicología Cognitiva. Por lo tanto es necesario tomar en cuenta los modelos conceptuales, es decir, la manera de organizar los contenidos de la ciencia para ser aprendidos en el acto instruccional (Norman, 1983). Es allí donde los materiales instruccionales sirven de vehículo para acercar los modelos mentales de los estudiantes a los modelos conceptuales que se organizan con fines de enseñanza.

Compartimos la idea de este autor en cuanto a que la investigación acerca de cómo mejorar la enseñanza de las ciencias, requiere tomar en cuenta las representaciones mentales (propias de cada persona). Estas representaciones mentales las considera como analógicas, prototípicas (imágenes visuales, táctiles, olfativas) y proposicionales (del

*Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma.  
Su aprendizaje significativo*

---

tipo de lenguaje), pero en un lenguaje no consciente llamado: **mentales**. Al mismo tiempo apoyamos que es necesario considerar las representaciones externas que se ofrecen a la persona para lograr un aprendizaje significativo (Moreira, 2000).

Otro elemento importante es el papel que cumplen los materiales instruccionales para el aprendizaje de las ciencias es el análisis del contenido al cual se refieren. De acuerdo a Jiménez-Valladares y Perales (2001), para realizar el análisis secuencial de los contenidos de un material didáctico, como los libros de texto, se requiere realizar investigaciones que traten en conjunto o separadamente distintos tipos de análisis, sobre:

- *La estructura sintáctica* (conceptos presentes, secuencia de los contenidos).
- *El aspecto semántico* (comprensión de los textos, argumentaciones usadas, etc.).
- *Los elementos simbólicos* (las imágenes externas que estén presentes).
- *El contenido curricular* (errores conceptuales, tipos de actividades incluidas, etc. , y
- *Elementos evolutivos* (variaciones temporales en su contenido y tratamientos).

**Gen y Cromosoma, conceptos estructurantes del conocimiento en Biología. Algunas aportaciones desde la investigación en enseñanza**

En Biología, al igual que en las otras ciencias, existen conceptos clave o estructurantes sobre los cuales se edifica un conocimiento más integral y complejo. Entre los conceptos de este tipo que se presentan al estudiante con el uso de imágenes externas están **gen** y **cromosoma**. Las imágenes sobre ellos, como representaciones externas, se usan para

tratar de favorecer en el estudiante la construcción de representaciones mentales (internas) que les permitan lograr un aprendizaje significativo de dichos contenidos.

El tratar de describir y caracterizar las imágenes externas que se emplean para la enseñanza de los conceptos de **gen** y **cromosoma** en los materiales instruccionales de Biología, se tienen elementos importantes para una posterior interpretación de cómo las mismas intervienen en el aprendizaje de dichos conceptos biológicos. Estudios de este tipo consideran como paso previo, averiguar qué tipo de ayudas se emplean en la instrucción para tratar de comprender cómo son las representaciones mentales que elaboran los estudiantes, ya que los docentes y autores de libros emplean primordialmente imágenes externas para facilitar el aprendizaje de los conceptos de **gen** y **cromosoma**.

Por otra parte, desde el punto de vista de la Biología, los conceptos de **gen** y **cromosoma** tienen un alto grado de abstracción y son fundamentales para la mayoría de sus contenidos actuales. La biotecnología, biodiversidad, evolución, clonación, bioética, Ingeniería genética, entre otros son sólo algunos campos de esta ciencia donde estos conceptos son primordiales. A su vez, los mismos son clave en la comprensión de la ciencia, la tecnología y su relación con la sociedad.

En trabajos relacionados con el área de la enseñanza de la Biología, Pino, (2003), aborda aspectos del proceso mental que emplean los estudiantes para aprender los conceptos de ADN y cromosoma, usando como estrategia para la investigación la elaboración de mapas conceptuales por parte de estudiantes del 9° grado de Educación Básica en Venezuela. Otros investigadores señalan que entre los contenidos biológicos que ocupan una mayor atención en la enseñanza de esta ciencia están los relacionados con el campo de la Genética (Banet y Ayuso, 2000). La mayoría de los conceptos genéticos se basan en entidades teóricas construidas dentro de sistemas conceptuales abstractos, hipoté-

*Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma.  
Su aprendizaje significativo*

---

ticos deductivos y, dentro de ellos, los científicos han derivado mecanismos para tratar de comprender las funciones que cumplen dentro de los sistemas vivos (Baker y Lawson, 2001).

En Biología Rodríguez-Palmero (1997, 2000), señala la existencia de un importante número de trabajos publicados sobre el tema de la célula, su estructura y funcionamiento, e indica que en los últimos diez años se han realizado estudios relacionados con aspectos de la célula, en los cuales se dice que no existe, entre los estudiantes, un verdadero conocimiento del nivel celular, se evidencia la presencia de contradicciones en sus conocimientos sobre la estructura celular de animales y de vegetales, además parece que no logran establecer relaciones entre la estructura celular y la función celular. En dichas investigaciones también se encuentra que existe en los estudiantes un desconocimiento importante en cuanto a los conceptos físicos y químicos involucrados en los procesos celulares. En este aspecto coincide Pino (2003) al investigar sobre el aprendizaje de los conceptos de ADN y cromosoma entre jóvenes de Educación Básica en Venezuela.

Por otra parte, Southerland, Abrams, Cummins y Anselmo (2001) reportan estudios en los que exploran el conocimiento de los estudiantes y sus explicaciones ante fenómenos biológicos. Es de hacer notar que muchos de los temas de la Biología requieren que los estudiantes comprendan previamente los conceptos de **gen** y **cromosoma**. Por otra parte, el aprendizaje de los conceptos de **gen** y **cromosoma** requieren tener conocimientos previos provenientes de la Química (Pino, 2003).

Sobre los conceptos **de gen y cromosoma** existen menos trabajos en comparación con los de otros contenidos biológicos a pesar de la relevancia de los mismos. En consideración de Banet y Ayuso (2000), las investigaciones señalan que los estudiantes no comprenden los conceptos de **gen**, **cromosoma** y **alelo**, por lo cual no pueden interpretar adecuadamente el significado de homocigotos y heterocigotos, además

de que los estudiantes tienen visiones alternativas de los procesos de meiosis. Todo ello repercute en los cálculos de las probabilidades, el significado de las frecuencias y proporciones para los genotipos, fenotipos en los cruces y cuando se requiere resolver problemas para la comprensión de dichos mecanismos genéticos o hereditarios, entre otros.

Se sospecha que la falta de comprensión sobre **gen y cromosoma** hace que los estudiantes realicen un trabajo de rutina memorística, de poca relevancia y carente de significado. Se plantea entonces, que es necesario realizar una enseñanza de la Genética que considere los conocimientos previos de los estudiantes, incluyendo la información que adquieren fuera de la escuela, el planteamiento de situaciones de aprendizaje que favorezcan la construcción del conocimiento y el uso de materiales apropiados y diversos para tal fin. Con todo esto se podría lograr que los estudiantes reestructuren sus concepciones iniciales sobre la información hereditaria, su ubicación en la célula, el papel de los cromosomas, etc. y posiblemente se podrían lograr conocimientos más coherentes con los conceptos científicos actualmente aceptados en esta nueva era de la Biología.

El énfasis de los estudios realizados para estos contenidos durante la década de los años 80, al igual que lo ocurrido en la enseñanza de otras ciencias, se ha basado en investigaciones referentes a las ideas alternativas, concepciones previas de los estudiantes, planteamientos para lograr el cambio conceptual y en relación a las dificultades de los aprendices en la resolución de problemas de esta disciplina, entre otros. Entre las principales fuentes de concepciones alternativas y dificultades en el aprendizaje identificadas en las investigaciones revisadas por Bugallo (1994), se pueden señalar:

- **El uso de la terminología**, donde se implica dificultades en la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos de división celular (mitosis y meiosis), específicamente en establecer las diferencias de ambos procesos.

*Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma.  
Su aprendizaje significativo*

---

- La presentación en los **libros de texto** de **errores conceptuales y ambigüedades** entre los conceptos de gen y cromosomas alelos, sin establecer sus diferencias y significados correctos.
- La confusión que provoca **el uso de términos comunes al lenguaje cotidiano** al referirse a **conceptos biológicos**.

Existe coincidencia en considerar que **gen** y **cromosoma** son claves en la construcción del conocimiento biológico y tienen incidencia tanto a nivel de Genética de Poblaciones como en el aprendizaje de la Célula (su estructura y funcionamiento), además de su significado dentro de la organización curricular de Biología.

## CONCLUSIONES

A partir de los aspectos antes señalados, es posible plantear que:

- Los libros de texto son considerados como fuente de información y como recurso para la enseñanza y el aprendizaje, razón por la cual cada vez se realizan investigaciones de diversos tipos sobre los mismos en diferentes áreas del conocimiento y cuyos resultados ofrecen elementos con relación a su uso, a los aspectos estructurales y formales de su contenido, a los tipos de aprendizaje que se favorecen y en relación con las distintas estrategias en las cuales ellos se emplean. Sin embargo, hay poca investigación sobre la manera cómo se emplean para aprender de manera significativa los contenidos biológicos.
- Al tratar de conocer cómo son las imágenes externas que se usan en los materiales instruccionales de Biología sobre los conceptos de **gen** y **cromosoma**, se podrían identificar elementos para conocer acerca del proceso de formación de representaciones mentales (internas), en situaciones de aprendizaje formal, conducentes a facilitar la compren-

sión de la información y a lograr aprendizajes significativos de estos dos conceptos estructurantes de la Biología.

- Algunas de las áreas que se señalan actualmente como de interés para realizar investigaciones en la enseñanza de la Biología se refieren a las representaciones internas que tienen los estudiantes sobre contenidos de esta disciplina científica; estudios acerca de cómo los estudiantes construyen sus representaciones sobre conceptos clave o estructurantes para esta ciencia; las características de los procesos cognitivos asociados a su comprensión, entre otros. En este sentido, se incorporan recomendaciones sobre la importancia que tiene ampliar la investigación con estudios que se refieran a los conceptos de **gen**, ADN,  **cromosoma**, célula, evolución, población biológica, tomando en cuenta los aportes que ofrece la Psicología Cognitiva para su interpretación (Rodríguez-Palmero, 1997 ; 2000).
- Entre las principales razones por las que se considera la importancia de dar atención especial a los conceptos de **gen y cromosoma** están:
  - Son conceptos de alta dificultad para los estudiantes de diversos niveles educativos
  - El conocimiento y comprensión de tales conceptos biológicos son requeridos para entender la dinámica de los procesos biológicos que ocurren tanto en organismos celulares como pluricelulares, en procesos inherentes a las poblaciones y comunidades biológicas y en el entendimiento de la biosfera como un sistema.
  - Los conceptos de **gen y cromosoma** son tratados solamente con énfasis desde el punto de vista de la herencia mendeliana en las clases de -Biología a nivel básico, con pocas variaciones en su enfoque para los niveles de media y superior.
  - La ayuda que se emplea en la enseñanza de tales conceptos fundamentalmente del tipo de las imágenes externas, por lo que las mis-

mas deben ser consideradas y revisadas con especial atención, pues generalmente son sustitutos de la realidad.

## REFERENCIAS

- Alfonso, A. Ch, Vellar, F y Martins, I. (1999). Tipos e funcoes de imagens em Livros didaticos de Ciencias: Uma análise preliminar. // *Encontro Nacional de Pesquisa em Educacao en Ciencias, Brasil*
- Alvarenga, B. (2001). *Livro Didático – Análise e Selecao*. En: Moreira y Axt, R. *Tópicos en Ensino de Ciencias*, Porto Alegre, Brasil: Editorial Sagra
- Andrés, M. (2002). *Caracterización profesional y modelo didáctico de los docentes de ciencias básicas como fundamento para su perfeccionamiento profesional*. Informe académico final presentado al Fonacit. Caracas, Venezuela
- Banet, E. y Ayuso, E. (2000). Introducción a la Genética en la enseñanza secundaria y el bachillerato. II. ¿Resolución de Problemas o realización de ejercicios? *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), 127 – 142
- Barboza, D. y Diez de T, D. (1996). Educación Nutricional. Comunicación y Difusión de las Guías de Nutrición en la escuela. *Anales de Nutrición*, (7),
- Barboza, D, Diez de T, D. y otros (1992). Diagnóstico sobre la enseñanza de la alimentación y nutrición en educación Básica, un estudio de opinión de docentes en relación a sus necesidades e intereses. *Anales Venezolanos de Nutrición*, (4), 11 – 15

- Baker, T. y Lawson, A.F. (2001). *Research on the adquisition of science knowledge : Epistemological foundations of cognitions*. In D. L. Gabel (ed), Handbook of research on science teaching and learning, N.Y.: Macmillan
- Bachelard, G. (1948). *La formación del Espiritu Científico*, Buenos Aires: Editorial Argos
- Bugallo, R. A. (1994). Revisión Bibliográfica de investigaciones sobre genética. *Enseñanza de las ciencias* (12) 3, 150-163
- Bruner, J. S, Goodnow, J. J. y Austin, J.A.(1956). *A study of thinking*. New York : Weley
- Camargo -Nalza, M.; Montanhini, R. Q y Gurgel, C. (1997). O livro didatico no contexto escolar: Fundamentos históricos e sociológicos dos textos de ciencias / Física utilizados nos encinos de 1 e 2 graus de Piracicaba e Regiao. *Atas do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciencias*, Brasil
- Castillo, N. (1997). Interacao do Professor de Biología com o livro didatico. *Atas do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciencias*, Brasil
- Da Silva Carneiro, M. H.(1999). As Imagens no Livro Didático. *Atas do II Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciencias*, pp 366-373, Brasil
- Da Silva, R. Y Frateschi, S. (1999).Os livros didaticos de Biología do século XX. *II Encontro Nacional de Pesquisa em Educacao em Ciencias*, Brasil

*Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma.  
Su aprendizaje significativo*

---

---

Díaz Barriga, F. y Hernández, G. (2001). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista.* , Mexico: Edit. Mc Graw Hill

De Almeida, M. J. (1977). Quesotes formuladas e Representacoes de alunos e Profesores na leitura de textos de divulgacao científica. *Atas do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciencias*, Brasil

Deforge, Y. (1991). Historia de la Comunicación Gráfica y Diseño Gráfico en Costa, J. y Moles, A. (eds). *Imagen Didáctica. Enciclopedia del Diseño*, pp. 71- 86. Barcelona: Ceac

Del Pino, J. Pellens, A y Eichler, M. (2001). Avalaicao de materiais didaticos producidos de forma integrada em actividades de formacao inicial e continuada de profesores de química. *Atas do III Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciencias*, Brasil

Del Carmen L. y Jiménez, M., P. (1997). Los libros de texto un recurso flexible. *Alambique. Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, (1) , 7-14.

Diez de T. D. (2002). Las representaciones mentales y la Enseñanza de las Ciencias. *Revista de Investigación*, (52) ,11 – 41

Gibson, J. (1954). A theory of Pictorial. *Communication Review*, (2), 3 – 23

Glenberg, A. y Langston , W. E. (1992). Comprehennsion of Illustrated text: Picture Help to build mentals models. *Journals of Memory and Lenguage*, (31), 129 – 151

Goldstein, B. (1975). The perception of multiple images. *Av. Communication Review*, (23), 34-68

- Greca, I, y Moreira, M. A. (1999). Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético e alumnos de física general, estudiantes de posgrado y físicos profesionales, *Ensin de Ciencias*, (1), 1
- Greca, I., Moreira, M. A. (1998). Modelos Mentales, Modelos Conceptuales y Modelización. *Cad. Cat .Ens. Fis*, (15), 107 – 120
- Greca, I. (1999). *Representaciones Mentales*. Texto de apoyo N ° 7. Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. U. B. U . España. Mat. Mimeo
- Jiménez-Valladares, J. D. y Perales, F. J. (2001). El análisis de contenido. Aplicación al estudio del texto y las ilustraciones de los libros de física y química de la ESO. *Enseñanza de las Ciencias*. (19), 3-19
- Johnson – Laird, P. (1983). *Representaciones Mentales*. Cambridge M . A.: Harvard University Press, 396 – 445
- Johnson – Laird, P. (1996). *Images, Models and Propositionals Representations*, in: *Models of Visuo-spatial Cognition*. Manuel de la Vega, Margaret Jean, Intons Peterson, Phillips Johnson- Laird, Michel Denis y Marc Marschark, Oxford: Oxford University Press
- Martins, I. y Cassab, M. (2001). A linguagem no livro didatico de ciencias: Um exercicio de análise. *Atas do III Encontro Internacional de Pesquisa en Ensino de Ciencias*, Brasil
- Martins, I. (1997). O papel das representacoes visuais no ensino-aprendizagem de ciencias. *Atas do I Encontro Internacional de Pesquisa en Ensino de Ciencias*, Brasil

*Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma.  
Su aprendizaje significativo*

---

Moreira, M. A. (2002). Modelos Mentales y Modelos Conceptuales en la Enseñanza / Aprendizaje de la Física y en la Investigación en este campo. XX *Encuentros de Didáctica de las Ciencias experimentales*. Tenerife

Moreira, M. A. (2001). *Aprendizaje significativo: Un concepto subyacente*. mimeo

Moreira, M. A. (2000). *Modelos Mentales*. Escuela de Verano sobre Investigación y Enseñanza de las Ciencias. Burgos, España: Universidad de Burgos

Moreira, M. A. (1999). *Modelos Mentales*. Texto de apoyo N ° 8. Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos. mat. Mimeo

Moreira, M., (1997). *Las Representaciones Mentales: modelos, proposiciones e imágenes*. Programa de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Material de apoyo. Burgos, España

Moreira, M. A. (1996). Modelos Mentales. *Revista Investigaciones en Enseñanza de Ciencias*. 1, (1). <http://www.lf.ufrgs.br/public/ensino/revista>.

Norman, D. (1983). Some Observations on mental models. En Gentner, D.Y., Stevens, A. (Eds). *Mental Models*. Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, N.J.

Otero, M., Greca, I, y Da Silveira, F. (2003). Uso de imágenes visuales en el aula y aprendizaje de la Física. *Revista Investigaciones en Enseñanza de Ciencias*. (1) 2

Otero, M. R. (1999) Psicología Cognitiva, representaciones mentales e investigación en enseñanza de las Ciencias. *Investigaciones en Ensino de Ciencias*, (4), N ° 2

- Otero, M. R. , (1997). Imágenes mentales y explicaciones de los alumnos. *Atas do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Brasil*
- Otero, M. R., Moreira, M. A. y Greca, I, (2002). El uso de imágenes en textos de Física. *Investigacoes em Ensino de Ciências, (7) N ° 2*
- Paivio, A. (1986). *Imagery and verbal proceses*. Holta, Rinehart and Winston, Inc. New York.
- Perales, F. J. y Jiménez, J. D. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las ciencias, 20 (3), 369-386*
- Pino, I. M. (2003). La utilización de mapas de conceptos como técnica para identificar atributos de conceptos de ADN y gen, aprendidos por los estudiantes de 9 ° grado de Educación Básica. *Revista de Investigación, (53), 71-90*
- Rodríguez-Palmero, M. L., Marrero-Acosta, J. y Moreira, M. A. (2002). La teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird y sus principios: Una aplicación con Modelos Mentales de célula en estudiantes del curso de orientación universitaria. *Ensino de Ciências. (6) 3*
- Rodríguez-Palmero, M. L., Moreira, M. A., Marrero-Acosta J. (2002). *Modelos mentales de célula: un esquema de análisis para su estudio en estudiantes de COU*. En prensa
- Rodríguez-Palmero, M. L (2000). Revisión bibliográfica sobre investigaciones en Célula, estructura y uncionamiento celular. *Investigacoes em Ensino de Ciências, (4), 135 – 152*

*Representaciones externas de los conceptos biológicos de gen y cromosoma.  
Su aprendizaje significativo*

---

Rodríguez-Palmero, M. L (1997). Revisión bibliográfica relativa a la enseñanza aprendizaje de la estructura y funcionamiento celular. *Investigaciones em Ensino de Ciencias*, (2), 123- 152

Sánchez-Gómez, P. J., Morcillo, J., Sánchez- Martín, M. y Silvan, E., (2002). Análisis Estructural del Contenido de Textos de Alumnos Universitarios sobre estructura Química. *XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Tenerife, España

Southerland, R., Abrams T., Cummins, G. y Anselmo, L. (2001). Tópicos de Biología, dificultades de aprendizaje. *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, (4), N ° 2

Terrazan, E. (1997). Analogías e Metáforas: O Estado da arte no ensino de Ciências. *Atas do I Encontro do Pesquisas em ensino de Ciências*, Brasil

Thagard, P. (1996). *Mind: introduction to cognitive science*. Cambridge, M . A: The MIT Press.

Winn, D. (1994). Contributions of perceptual and cognitive processes to the comprehension of graphics, en Schnotz, W. y Kulhavy, R. W. (eds). *Comprehension of graphycs. Advances in Psychology*, 108. Amsterdam: Elsevier Science B.V.

Zimmer, H. D. (1994). Representation and processing of the spatial layout of objects with verbal input, en Schnotz, W. y Kul havy, R. W. (eds). *Comprehension of graphycs. Advances in Psychology*, 108. Amsterdam: Elsevier Science B.V.