

## Resumen

Numerosos estudios muestran que las imágenes tienen un importante efecto sobre la comprensión de los conceptos científicos, pero que también son fuente de ideas previas. En este artículo se aborda el problema de la interpretación de las imágenes, junto con el de la representación icónica de los objetos menores a la escala visible, que se utilizan muy comúnmente en la enseñanza de la física, la química y, recientemente, la nanotecnología.

Se parte de considerar que es necesario salvar el obstáculo epistemológico que representa la interpretación de las nanoescalas, para lograr comprender los principios básicos de la nanociencia y la nanotecnología, temas de necesaria inclusión en el currículum de ciencia.

Se estudió la forma en que un grupo de estudiantes comprenden las nanoescalas y las aplican en la resolución de problemas sencillos, utilizando una exhibición proveniente de un museo científico. Posteriormente, se efectúa la misma evaluación, pero sobre un material didáctico y, finalmente, se evalúa la comprensión y aplicación de las nanoescalas en una nueva propuesta icónica. Como resultado de esta investigación, se detectaron dos obstáculos principales: la concepción de la dimensión de nanómetro y la necesidad de explicar las nanoescalas utilizando referentes de la vida cotidiana.

## Palabras clave

Nanotecnología, nanociencia, nanómetro, nanoescala, icónico, obstáculo epistemológico.

## Abstract

Several studies about the role of images on science learning show that they have an important effect on concept understanding, but they are also the origin of misconceptions. In this article, the problem of image interpretation is addressed, along with the iconic representation of objects smaller than visible scales, which are commonly used while teaching physics, chemistry and nanotechnology.

Formal education studies have shown that nanoscales, being invisible to the naked eye, act as an epistemological obstacle when dealing with nanotechnology. In this study we assume that it is necessary to overcome this obstacle in order to understand the basic principles of nanoscience and nanotechnology, whose inclusion in the science curriculum is necessary.

We studied how a group of students deal with nanoscales in a museum exhibit, where we assessed the museum's original exhibit in terms of concept understanding and application to solve easy problems; then a didactic presentation from a teacher's magazine was evaluated and, finally, we studied the understanding of nanoscales in a new proposal that incorporated the positive results obtained from the two previous studies.

In this research we could detect two main obstacles: the conception of the size of a nanometer, and the need to use examples close to everyday objects.

## Key words

Nanotechnology, nanoscience, nanoscale, nanometer, iconic, epistemological obstacle.

# La enseñanza de la nanociencia: un acercamiento mediante imágenes<sup>1</sup>

María del Carmen Sánchez-Mora<sup>2</sup>

Hasta ahora han sido escasos los estudios sobre el papel de las imágenes en la enseñanza-aprendizaje de la ciencia; esto se debía en gran parte a que las ilustraciones recibían poca atención, pues, aunque presentes en los materiales educativos, se les solía atribuir funciones secundarias y poco claras en relación con la presentación de contenidos y, si acaso, se consideraba que su papel era complementario al texto o tan sólo motivador de los estudiantes.

Con el tiempo, diversas investigaciones han señalado que las imágenes no sólo influyen en el aprendizaje, sino que su efecto en éste es mucho más complejo. Se ha encontrado, por ejemplo, que las imágenes facilitan el aprendizaje de las ciencias a los estudiantes más aventajados, pero no a los menos capaces; y que a medida que la dificultad del tema aumenta, los estudiantes miran mayor número de veces y durante más tiempo a las imágenes, pero que aprenden menos (Reid y Beveridge, 1990).

Lo anterior señala la necesidad de abordar el papel de las imágenes, en la enseñanza de las ciencias, como parte de la investigación educativa, junto con otros aspectos como su relación con el texto escrito, las actitudes de profesores y alumnos ante ellas, o su relación con las ideas previas (Pérez y Llorente, 1998). Cada día se tienen más evidencias de que las ideas previas influyen en las observaciones que los estudiantes puedan hacer de los fenómenos y materiales científicos, y en los significados que les puedan atribuir. Esta conclusión proviene del enfoque constructivista de la ciencia, en el cual, entre otras cosas, se reconoce que existe un relación dinámica e interdependiente entre la teoría y la observación (Hodson, 1986).

---

<sup>1</sup> Texto recibido el 25 de febrero, evaluado el 16 y el 20 de mayo y arbitrado el 30 de junio de 2009.

<sup>2</sup> Doctora en Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Jefa de la Unidad de Formación en Divulgación de la Ciencia de la Universidad Nacional Autónoma de México. masanche@universum.unam.mx

## Aprendizaje y enseñanza de las ciencias con imágenes

Hace ya más de medio siglo, Bachelard (1994) había señalado que uno de los problemas para comprender la ciencia es la presencia de ciertos obstáculos acumulados en la vida cotidiana, que él llama epistemológicos, y que generan una inercia que dificulta el proceso de construcción de un saber nuevo. Hoy la educación en ciencias tiene claro que el ambiente cultural es determinante del contenido que construyen los estudiantes, porque todos los aprendizajes son contextuales, y que las representaciones que los hacen del entorno están mediadas por el contexto en el que fueron construidas. Una buena parte de estas representaciones está contaminada por las imágenes que invaden, tanto los ambientes educativos formales como los informales.

De acuerdo con lo anterior, poner al alcance del alumno los conocimientos científicos implica indagar en las concepciones del mundo que éste tiene, incluyendo aquellas derivadas de ilustraciones, diagramas, esquemas, representaciones pictóricas e iconografías, e intentar trabajar sobre los modelos mentales que han generado. Sabido es que se trata de una empresa complicada, si se considera lo difícil que es que el aprendiz se desprenda de tales modelos, sobre todo cuando se enfrenta cada día a una mayor disparidad en cuanto a las calidades y profundidades de los ambientes de aprendizaje a los que está expuesto.

Para poder hacer observaciones científicas, en cualquier ambiente educativo, los alumnos requieren de un marco teórico de referencia, ya que sin éste pueden pasar por alto el fenómeno, para estudiar, comprender, algo totalmente distinto de lo que se pretende, o incluso generar nuevas ideas previas (Hodson, 1986). Las observaciones no solamente se refieren a los fenómenos o procesos científicos, sino también a las imágenes que los representan; por ello es que cuando los alumnos las miran, requieren poner en juego determinadas destrezas de observación (Pérez y Llorente, 1997).

Desde hace tiempo se considera (Salomón y Leigh, 1979) que cuando se poseen tales destrezas, las imágenes pueden llegar a sustituir visualmente otros tipos de habilidades mentales necesarias para aprender un determinado contenido. No obstante, este proceso de sustitución puede muchas veces chocar con el obstáculo que supone la correcta interpretación de las imágenes, que desde luego se verá influida por la forma de representación. A todo esto habrá que añadir la dificultad extra que implica la interpretación de las imágenes elaboradas para representar procesos y fenómenos invisibles, en la que, además, entra en juego el problema de la iconicidad, esto es, de la representación misma de objetos que no tienen referentes en la vida cotidiana.

Latour (1986) ha señalado que las imágenes científicas son fundamentales para la construcción de conocimiento y que los trabajos científicos se miran más sólidos

cuando se acompañan de diagramas e ilustraciones. Por su parte, Brown (1996) sostiene que las ilustraciones científicas son poderosos instrumentos para transmitir información, y que en ellas los diagramas revisten particular importancia, ya que brindan imágenes tangibles de fenómenos imposibles de registrar por la simple observación.

En el siglo XVII, Comenius enfatizaba que la representación pictórica, como apoyo a la información, es un factor importante para lograr un aprendizaje efectivo (Schnotz, 2002). Esta idea siguió vigente en la enseñanza de las ciencias, al punto que el empleo de imágenes ha sido común en los textos científicos. Actualmente existe un énfasis educativo en el uso de ilustraciones, en parte como reflejo del desarrollo actual de las tecnologías que facilitan su creación, aunque eso no necesariamente implique que en los apoyos ilustrados a la enseñanza de las ciencias, se busque o se logre el papel educativo de las imágenes, que ya señalaba Latour. Lo anterior ha traído como resultado que el estudiante se encuentre inmerso en un ambiente de información visualmente rico, pero no necesariamente formativo, en el que se incluyen los materiales didácticos (Lowe, 2000).

El grado de iconicidad de las imágenes, es decir, el grado de semejanza visual entre un objeto y su imagen, es un factor a tomar en cuenta en el aprendizaje, porque se ha encontrado que la mera reproducción de las apariencias originales no es suficiente para que una imagen sea adecuada a su propósito educativo, ni las imágenes más realistas son a menudo las mejores. Es de suponerse que esta situación es aún más compleja en el caso de la ilustración de objetos o procesos invisibles al ojo humano. Tampoco la presencia de imágenes estéticamente adecuadas garantiza un mejor aprendizaje (Pérez y Llorente, 1997), e incluso algunos estudios (Pérez y Llorente, 1998) han mostrado que, en muchas ocasiones, las imágenes producen un efecto contrario al que normalmente se les atribuye.

Por otro lado, los diagramas y las ilustraciones tienen también valor epistemológico, ya que presuponen en el aprendiz la habilidad de hacer inferencias de acuerdo con una serie de convenciones compartidas tanto por el autor como por el observador (Hall, 1996). Lo anterior señala que la comprensión de los diagramas requiere de ciertas nociones y habilidades previamente adquiridas y del manejo de un lenguaje visual por parte del observador.

Hoy en día es indispensable la alfabetización visual para capacitar a niños y adultos en una sociedad en la producción, la tecnología y el consumo de imágenes son cada vez mayores y donde la comunicación icónica es parte de la vida diaria. De esta idea surge el concepto de alfabetización visual, que sostiene que para leer imágenes se requieren habilidades particulares (Heinrich, Molenda, Russel y Smaldino, 2002), en especial porque los diagramas no pueden interpretarse literalmente.

Cuando se habla de alfabetización visual, se entiende que la imagen posee un lenguaje, ya que es un medio de comunicación que transmite mensajes de una

manera particular. Desde el punto de vista educativo, el problema es enseñar a leer este lenguaje visual que, contrario a lo que pudiera pensarse, no es simple y directo, sino que necesita a su vez de un aprendizaje. Así, resulta que alfabetización y lenguajes visuales son términos conexos y recíprocamente dependientes.

Se puede, por tanto, sugerir que la investigación de las imágenes en la enseñanza constituye una contribución científica relevante que debe estar sustentada en estudios desde la pedagogía, la psicología y la epistemología de cada disciplina científica (Pérez y Llorente, 1998). El estudio de los problemas en el aprendizaje a partir de imágenes debe abordarse desde un complejo modelo multidimensional e interactivo entre las imágenes, el texto escrito, los estudiantes, las tareas y el contexto en el que se realicen. De todas las dimensiones presentes en dicho modelo, pueden mencionarse las propias del estímulo: las cualidades de la imagen y del texto y sus interrelaciones y, por otra parte, las variables personales, entre las que pueden mencionarse las ideas previas del alumnado sobre el tema de estudio, que llegan a funcionar como verdaderos obstáculos epistemológicos.

## La percepción de la nanociencia

A lo anterior habrá que añadir que, a partir de la primera mitad del siglo XX, la ciencia empieza a tratar aspectos muy alejados de los referentes cotidianos, como el átomo, cuyas abstracciones teóricas se alejan del sentido común e incluso parecen contradecirlo. Al mismo tiempo, surge la necesidad de ejemplificar e ilustrar estos fenómenos, por lo que se recurre a la creación de materiales pictóricos, diagramas e ilustraciones, que pasan a formar parte del ambiente de aprendizaje, pero cuya lectura, comprensión e influencia sobre los modelos mentales construidos por los estudiantes son poco conocidas.

A pesar de que los avances en nanociencia, nanoingeniería y nanotecnología han revolucionando la medicina, la computación, la ciencia de materiales, la producción de energía y la manufactura, el público en general tiene poco conocimiento al respecto (Scheufele y Lewenstein, 2005). Los avances en la investigación a nanoescala plantean un gran reto a las comunidades de educadores y comunicadores, ya que deberán crear nuevos métodos y materiales educativos que transmitan el trabajo en este campo.

Esto incluye la adquisición de un vocabulario de términos relacionados con el nanomundo, y, en suma, la adquisición de una cultura científica en el tema. No puede dejar de mencionarse que en algunos países se busca también la comprensión de la nanociencia y la nanotecnología por el público general, con objeto de incentivar el patrocinio económico de los proyectos científicos (Bainbridge, 2002; Stevens, 2002; Scheufele y Lewenstein, 2005). También se ha señalado la importancia de la enseñanza adecuada de estos temas, si se busca capturar a las nuevas generaciones para que elijan carreras en la nanociencia y la nanotecnología (Crone, 2006).

Si bien diversas encuestas señalan que aproximadamente el 40 % del público ha oído hablar del tema (Bainbridge, 2002), muy pocos son los que manejan los conceptos de la ciencia que está detrás de la nanotecnología. Las explicaciones a esta circunstancia provienen, de acuerdo con Crone (2006), de la poca comprensión del concepto de átomo y molécula, aspecto que forma una barrera frente al lenguaje utilizado por los nanotecnólogos.

Una revisión de la literatura realizada, también por Crone (2006), acerca de este asunto muestra que:

- El público no maneja conceptos como átomo y molécula y, por lo mismo, carece del conocimiento de la estructura atómica.
- Incorrectamente, se razona que los átomos y moléculas en una sustancia tienen las mismas propiedades que dicha sustancia tiene en la macroescala.
- Se considera la materia como algo continuo, en lugar de formada por partículas.
- Existen grandes dificultades para comprender las escalas invisibles al ojo humano.

Precisamente, uno de los objetivos del presente trabajo ha sido estudiar las habilidades que requieren los estudiantes para interpretar representaciones pictóricas de partículas subatómicas y de objetos relativos a la nanotecnología. Sin ignorar las múltiples dificultades conceptuales que implica la enseñanza y la divulgación de la nanotecnología; en este trabajo se procede bajo la hipótesis según la cual precisamente el tema de la escala no visible al ojo humano desnudo constituye el primer obstáculo epistemológico para la comprensión de estas temáticas. Consideramos además que este obstáculo es primario, ya que a él subyacen las dificultades para la comprensión de la estructura atómica y de la continuidad de la materia, de manera que pensamos que, en la medida en que se supere dicho obstáculo, se facilitará la introducción al estudiante en el tema de la nanociencia.

En este trabajo se aborda el problema de la interpretación de imágenes sobre objetos invisibles al ojo humano y la representación pictórica de las nanoescalas, que cada día se utilizan más, tanto en la enseñanza de la física y de la química, como en los materiales de divulgación científica de la nanotecnología. Se parte de la idea según la cual, en la interpretación que los estudiantes hacen de los materiales ilustrados acerca del nanomundo, existen obstáculos epistemológicos que impiden su adecuada lectura, por lo cual uno de los objetivos del presente estudio es localizar dichos obstáculos, provenientes de los ámbitos educativos informal y formal. La intención final es hacer una propuesta didáctica que tome en consideración las

dificultades encontradas en la lectura de las imágenes, con el objeto de facilitar a los estudiantes el acercamiento del complejo pero indispensable conocimiento del nanomundo.

Los espacios de educación informal, y principalmente los museos de ciencia, se han preocupado más que la escuela por atraer a diversos públicos hacia los temas relacionados con la nanotecnología (Ancel y Poli, 2008; Torres, 2003; Sánchez-Mora, 2006). La manera más común de abordar estos temas ha sido mediante la exposición de materiales productos de la tecnología, o bien de réplicas o simulaciones de experimentos clásicos, en especial de la mecánica cuántica (Sánchez-Mora, 2006).

## Planteamiento de la investigación

Aunque la escuela continúa siendo una fuente importante del aprendizaje científico y tecnológico, también ha dejado de ser el principal origen de la información en estos temas; en especial los niños y los jóvenes de nuestra sociedad viven desde muy pequeños rodeados de artefactos tecnológicos, de cuyo encuentro surgen nuevas formas de percibir el mundo. Esto no supone una única manera diferente de aprender y comunicarse, sino una modificación a las relaciones del individuo con su entorno.

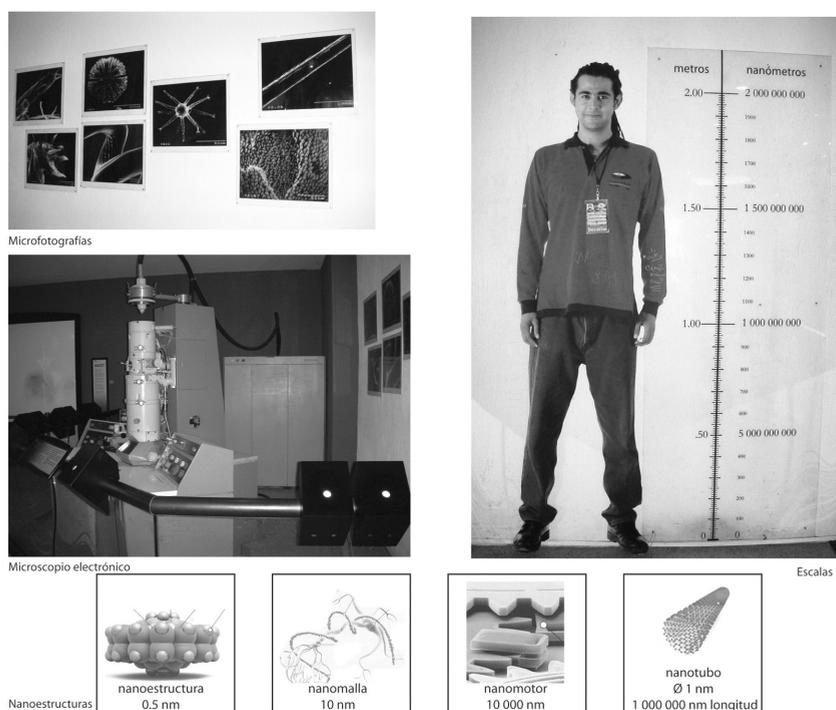
Si bien la literatura sobre el aprendizaje de las ciencias en contextos educativos informales es relativamente abundante, pocos estudios relacionan estas experiencias con los procesos de aprendizaje formales (Lucas, 1991). Las actividades educativas informales, como las que ocurren en los museos de ciencias, son útiles para mejorar las habilidades cognitivas de los estudiantes (Gerber, Cavallo y Marek, 2001), despertar actitudes positivas hacia la ciencia (Medved y Oatley, 2000) e, incluso, consolidar aprendizajes científicos, por lo que sus resultados pueden ser aprovechados en el ambiente educativo formal (Rix y McSorley, 1999).

De acuerdo con lo anterior, se ha considerado que el estudio del aprendizaje relacionado con la ciencia y tecnología que ocurre en ambientes informales, puede constituir un recurso importante para la enseñanza de la ciencia, ya que dichas experiencias ayudan a revelar las raíces de la motivación y el interés hacia la ciencia y tecnología de los estudiantes y, en consecuencia, pudieran proporcionar un recurso para su mejora.

Como ambientes informales, los museos de ciencia pueden colocar a los visitantes en situación de revisar sus concepciones y en particular de cuestionar algunas de sus creencias o ideas previas; esto se debe al impacto emocional que sus exhibiciones producen, o de las estrategias interactivas que proponen (Ancel y Poli, 2008). Tomando en cuenta las ventajas que ofrecen las exhibiciones museográficas para el acercamiento del público a temas complejos, como es el caso de la nanotecnología, en este trabajo se presenta, en una primera parte, una investigación que compara la recepción y la comprensión de una ilustración gráfica exhibida en un museo acerca de las nanoescalas, en relación con la nanotecnología.

Aprovechando la existencia en el museo Universum de la Universidad Nacional Autónoma de México, de una exposición sobre mecánica cuántica, en la cual se muestra, en uno de sus equipos, una serie de objetos invisibles al ojo desnudo y una escala para medirlos, se utilizó la reproducción de dicho material ilustrado, con la intención de detectar los obstáculos que los estudiantes manifiestan para su interpretación. Este material, que puede apreciarse en la figura 1, consiste en la fotografía a escala de una persona que mide dos metros de altura y que se ha colocado al lado de una tabla de medidas en metros y en nanómetros. Lo anterior va acompañado de siete fotografías de organismos microscópicos con sus medidas en micras y una ambientación con un microscopio electrónico real en desuso.

FIGURA 1. PRESENTACIÓN MUSEOGRÁFICA

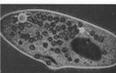
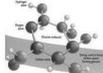


Para presentar la imagen en el aula, en la parte inferior de la figura 1 se agregaron las ilustraciones de cuatro nanobjetos: nanoestructura, nanomalla, nanomotor y nanotubo, y sus respectivas medidas en nanómetros. Dichas ilustraciones se utilizaron para resolver los problemas con los que se evaluó la comprensión de las imágenes, que se explican con detalle en la sección de metodología.

Posteriormente, se procedió de nuevo a hacer otra indagación acerca de la comprensión de un gráfico ilustrado sobre objetos invisibles, pero en este caso se uti-

lizó un material didáctico, desarrollado a partir de otro publicado en una revista mexicana, especializada en la formación magisterial (Sánchez y Herrera, 2000); esta ilustración se muestra en la figura 2. En este caso, consistió en representar diferentes objetos (piojo, paramecio, célula, bacteria, virus, macromolécula de celulosa, molécula de glucosa y átomo de carbono), junto con sus medidas reales y una escala para transformarlas a medidas perceptibles, por ejemplo, se propone que si un paramecio midiera un kilómetro de largo, el resto de los objetos tendría medidas proporcionales a ésta, y en esa relación el átomo mediría un milímetro de diámetro. Igualmente, se añadieron las nanoestructuras explicadas en la figura 1, que servirían para resolver los problemas.

FIGURA 2. PRESENTACIÓN DIDÁCTICA

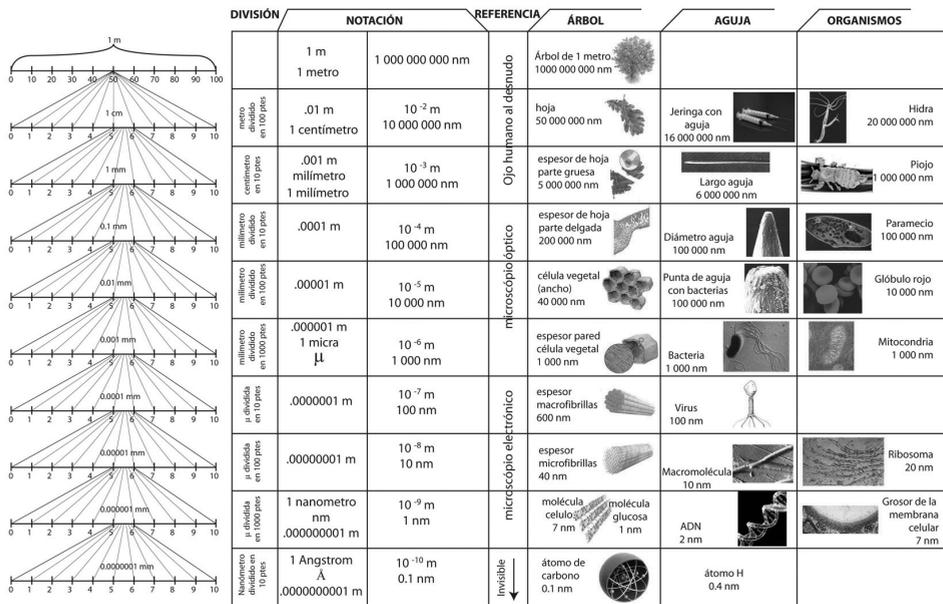
	ESCALA REAL	ORDEN DE MAGNITUD	ESCALA DE REFERENCIA
 Límite de lo visible con el ojo desnudo	mm 1 milímetro 1000 000 nm	Piojo 	10 kilómetros
	100 000 nm	Paramecio 	1 kilómetro
 Límite del microscopio óptico	10 000 nm	Célula 	100 metros
	$\mu$ 1 micra 1 000 nm	Bacteria 	10 metros
	100 nanómetros	Virus 	1 metro
	10 nanómetros	Macromolécula Celulosa 	10 centímetros
 Límite del microscopio electrónico	nm 1 nanometro	Molécula Glucosa 	1 centímetro
	Å 1 ANGSTROM 0.1 nm	Átomo 	1 milímetro

Esta segunda parte del trabajo se sustenta en el reconocimiento de la influencia del mundo de la imagen en los procesos de construcción de conocimiento en el aula, pero que, de acuerdo con aseveración de Pérez y Llorente (1997), tampoco se ha visto acompañado de un aumento en el rigor de la información icónica. Con este material didáctico ilustrado se buscó detectar el obstáculo epistemológico que impide la co-

recta lectura de la ilustración con la que se trabajó, y que, como posteriormente se reporta, resultó ser la comprensión de las escalas en las que se miden los objetos invisibles al ojo humano.

Finalmente, en la tercera parte de esta investigación se añadió a la ilustración utilizada en la segunda parte, una iconografía que supuestamente lograría atenuar el obstáculo detectado. Esta iconografía surgió de las interacciones con los dos primeros grupos, en las que se detectó la dificultad para comprender las unidades menores a un milímetro. Así, en el margen izquierdo de la figura 3 puede observarse la forma en que un metro se dividió primero en cien partes iguales, después uno de los centímetros en diez partes iguales, y así sucesivamente con las partes resultantes, hasta llegar al Ångstrom. Además, se mostraron las dimensiones en potencias de diez y en su notación decimal.

FIGURA 3. PRESENTACIÓN SUGERIDA



Los tres casos (la ilustración proveniente del museo, la ilustración didáctica y la nueva propuesta incorporando la solución al obstáculo) se evaluaron, cada uno, por medio de tres sencillos problemas, en cuya resolución se podía notar la capacidad de los estudiantes de interpretar las escalas invisibles. Lo anterior se describe detalladamente en la siguiente sección.

## Metodología

Con objeto de detectar el obstáculo epistemológico que afecta la comprensión de las dimensiones de los objetos cuyas medidas son menores a la escala visible por el ojo humano, y bajo la hipótesis, según la cual la incapacidad de manejar estas dimensiones afecta a su vez la aplicación de los conceptos básicos para entender la esfera de acción de la nanociencia y la nanotecnología, se llevó a cabo una evaluación de la lectura que hizo un grupo de estudiantes, de entre 14 y 16 años de edad, a un equipo sobre nanoescalas, originalmente exhibido en la sala de mecánica cuántica del museo Universum.

Esta evaluación se desarrolló en un salón de clase de una escuela secundaria (36 estudiantes) a la que se trasladó, en fotografía, la imagen de dicha exhibición (presentación museográfica), proyectada en una pantalla. Una vez que el investigador explicó el gráfico a todo el grupo, se procedió a plantear oralmente un cuestionario (que se anexa en la sección de resultados), con el cual se evaluó la comprensión de la escala, y en el que se detectaron los principales problemas que genera esta forma de presentación de las escalas no visibles. Cada vez que el investigador planteaba oralmente una pregunta al grupo, se daba un tiempo hasta que todos los estudiantes hubieran respondido por escrito. Habrá que añadir que también se tomaron notas de los comentarios de los estudiantes; sin embargo, no se hizo registro filmado del evento para no influir sobre la conducta del grupo.

Por otra parte, a otro grupo (36 estudiantes) de la misma edad promedio se le aplicó otra forma de presentar las escalas (presentación didáctica), (Sánchez y Herrera, 2000). Esta ilustración permitía a los estudiantes transformar las escalas invisibles a escalas macroscópicas, bajo el supuesto de que la traducción a las “escalas de los objetos visibles” facilitarían la comprensión de las nanoescalas (ver la figura 2). Como en el caso anterior, se presentaron las escalas comparativas y los ejemplos a todo el grupo, se contestaron dudas y se trabajó primero con algunos ejemplos muy semejantes, a los que posteriormente se utilizaron en la evaluación. Después se pidió a los alumnos que respondieran las preguntas que aparecen en la columna central de la tabla 1.

Hay que notar como, aunque se procuró que las preguntas aplicadas en los tres diferentes eventos de evaluación fueran similares, la naturaleza de los materiales utilizados implicó hacer pequeños ajustes a los cuestionarios. Dichos ajustes se notan en las ligeras variaciones que se introdujeron en las preguntas (ver los renglones de la tabla 1).

Una vez explicada cada ilustración a los diferentes grupos, y que cada uno manifestó no tener más dudas sobre lo expuesto, se procedió a transmitir oralmente a los estudiantes las diez preguntas de prueba; en cuanto todo el grupo manifestaba que ya había resuelto cada pregunta y que ya no requería de más tiempo, se procedía a plantear la siguiente. El proceso de explicación de la tabla tomó 35 minutos

para la gráfica del museo y 27 minutos para la propuesta didáctica; mientras que el proceso de examen se ajustó en ambos casos a cincuenta minutos, ya que se dieron cinco minutos por pregunta (en general cada pregunta era resuelta por la totalidad del grupo en un promedio de cuatro minutos, salvo en una pregunta que les resultó muy difícil, y en la que hubo que dar un tiempo de seis minutos). Lo anterior significa que el tiempo de trabajo con cada grupo fue de aproximadamente una hora y media.

La parte más importante en cada una de las tres pruebas consistió en plantear tres problemas, cuya solución implicaba la comprensión y aplicación de las medidas de tres estructuras nanotecnológicas ficticias. Estas preguntas corresponden a las tres últimas de cada cuestionario, que se presentan en cursivas en la tabla 1.

Una semana después de haber aplicado las dos primeras pruebas y, de acuerdo con los resultados obtenidos, se procedió a trabajar con una tercera forma de presentación de las escalas (propuesta sugerida), en la cual se intentó subsanar muchas de las dudas y errores cometidos en la interpretación de las dos pruebas anteriores, como los que se presentan:

1. Los estudiantes requieren situarse en una escala métrica en la que puedan visualizar las reducciones en tamaño a partir del milímetro (esto se logró pidiéndoles que observaran en su regla un milímetro y que lo fueran dividiendo cada vez, con la imaginación, en diez partes más pequeñas). En el anexo puede verse el gráfico que se utilizó para tal fin.
2. Los estudiantes requieren trabajar sobre un mismo ejemplo que vaya disminuyendo en escala y no sobre objetos que no tengan relación entre sí. Particularmente en el segundo ejercicio se notó que la presentación de objetos disímiles generaba muchas confusiones y, finalmente, se detectó que quien no sabe qué es un paramecio, un virus o un eritrocito y no posee idea de su tamaño, tendrá mucha más dificultad para comprender las micro escalas.

De acuerdo con el punto anterior, se decidió presentar, en la tercera modalidad, tres ejemplos a escoger, uno de ellos consistió en ir “reduciendo” el tamaño de un árbol a una hoja, al grueso de la hoja, a las células vegetales, a la pared de estas células, a las fibrillas de celulosa, a las macrofibrillas y microfibrillas, a la molécula de glucosa y, finalmente, al átomo de carbono. En otro ejemplo, se mostró una jeringa, su aguja, la punta de ésta, las bacterias localizadas en ella, los virus que caben en esa bacteria, el ADN viral, hasta un átomo de carbono en ese ADN. Como tercer ejemplo, y a manera de comparación, se conservaron organismos utilizados en la Propuesta Didáctica, como el piojo, el paramecio y la célula, que en este caso se transformó en un eritrocito, ya que resultó ser un mejor ejemplo que una célula

cualquiera; sin embargo, todos estos últimos ejemplos producen más confusión al momento de explicar sus medidas, que los ejemplos anteriormente descritos.

Los tiempos de explicación y de resolución de las preguntas fueron muy semejantes a los de los dos primeros tratamientos; la propuesta gráfica de esta tercera modalidad se puede ver en la figura 3.

Tanto en la propuesta didáctica, como en la derivada de la exhibición de museo (propuesta museográfica) y en la surgida del análisis de las dos anteriores, se solicitó a los alumnos la solución de tres problemas, que consistieron en ubicar la escala a la que se encuentran diferentes objetos nanotecnológicos, como los nanomotores, nanotubos o nanomallas (cuyas ilustraciones y medidas aparecen en las tres últimas preguntas para cada caso).

En ningún momento se trabajó con el concepto de átomo ni de molécula, para no entorpecer los resultados sobre la comprensión de las escalas. Sin embargo, es claro que este trabajo deberá complementarse posteriormente con la indagación acerca de la comprensión del concepto de átomo y su estructura, así como de la naturaleza discontinua de la materia, sin los cuales la comprensión de la nanotecnología no está completa.

## Resultados

Con objeto de facilitar la lectura y el análisis de los resultados obtenidos en los tres tratamientos, éstos se han colocado en la misma tabla, en la que se muestran las preguntas planteadas en cada uno de los tres casos. Las tres últimas preguntas corresponden a los problemas que intentan reflejar la comprensión del tema para los tres tratamientos.

TABLA 1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE ACUERDO CON LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

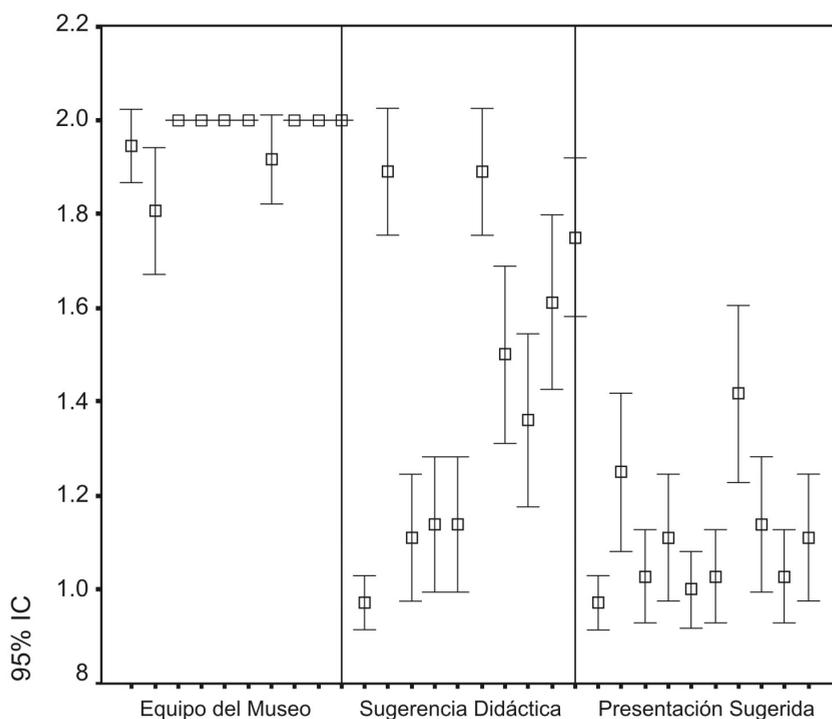
Presentación museográfica	Presentación didáctica	Presentación sugerida
1. ¿Cuál crees que sea el menor tamaño de un objeto visible con el ojo desnudo? R: No hay elementos para contestar. 2/36	1. ¿Cuál es el menor objeto visible con el ojo desnudo? R: El paramecio. 35/36	1. ¿Cuál es el menor objeto visible con el ojo desnudo? R: Espesor de la hoja, largo de la aguja o piojo, según el caso. 35/36
2. ¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? R: No se puede contestar. 7/36	2. ¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? R: 100 000 nm. 2/36	2. ¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? R: 200 000 nm, 6 000 000 nm, o 1 000 000 nm. 25/36
3. ¿Cuál crees que sea el menor objeto visible con microscopio electrónico? R: Cualquiera de las fotos. 0/36	3. ¿Cuál es el menor objeto visible con microscopio electrónico? R: La molécula de glucosa. 30/36	3. ¿Cuál es el menor objeto visible con microscopio electrónico? R: ADN o membrana celular. 33/36

Continúa

4. ¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? R: Entre 2 y 100 nm 0/36	4. ¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? R: 1 nm 29/36	4. ¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? R: 2 a 7 nm 30/36
5. ¿Cuál crees que sea el menor objeto visible con microscopio óptico? R: No se muestra. 0/36	5. ¿Cuál es el menor objeto visible con microscopio óptico? R: La bacteria. 29/36	5. ¿Cuál es el menor objeto visible con microscopio óptico? R: Espesor de la pared, bacteria o mitocondria, según el caso. 34/36
6. ¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? R: No se puede contestar. 0/36	6. ¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? R: 1 000 nm. 2/36	6. ¿Cuál es la medida de este objeto en nanómetros? R: 1 000 nm. 33/36
7. Si un virus mide 100 nanómetros, ¿dónde lo colocarías en esta escala? R: Debería localizarlo en la escala de nanómetros. 3/36	7. Si un virus mide 100 nanómetros, ¿a qué medida equivaldría en esta escala relativa de centímetros y metros? R: A 1 m. 16/36	7. Si un virus mide 100 nanómetros, ¿cuántos cabrían lado a lado en un milímetro de tu regla? R: 100. 19/36
8. ¿Cuál es la medida máxima en nanómetros que debe tener una nanoestructura para entrar a una célula? R: 10 000 nm. 0/36	8. ¿Cuál es la medida máxima en nanómetros que debe tener una nanoestructura para entrar en una célula? R: 10 000 nm. 21/36	8. ¿Cuál es la medida máxima en nanómetros que debe tener una nanoestructura para entrar a una célula? R: 10 000 nm. 29/36
9. Si un nanomotor mide lo mismo que una célula, ¿cuánto mide en nanómetros? R: 10 000 nm. 0/36	9. Si un nanomotor mide lo mismo que una célula, ¿cuánto mide en la escala relativa? R: 100 m. 12/36	9. Si un nanomotor mide lo mismo que una mitocondria, ¿cuánto mide en nanómetros? R: 1000 nm. 33/36
10. ¿Con cuál de los objetos nanotecnológicos aquí presentados se podría modificar internamente una bacteria? R: No hay elementos para contestar. 0/36	10. ¿Con cuál de los objetos nanotecnológicos aquí presentados se podría modificar internamente una bacteria? R: Con todos menos con el nanotubo. 7/36	10. ¿Con cuál de los objetos nanotecnológicos aquí presentados se podría modificar al ADN? R: Sólo con la nanoestructura. 30/36

De la población estudiada (un total de 36 alumnos), se puede notar una diferencia significativa, entre las respuestas del cuestionario, para los tres tratamientos (con un intervalo de confianza del 95% ( $p < 0.05$ )). Esto se muestra en la gráfica 1, en la cual, para los tres grupos experimentales, se asientan los valores de sus medias para cada pregunta, conforme al sistema SPSS (Statistical Package Social Sciences) 11.5 para Windows. Se utilizó una comparación múltiple y el método de Fisher para discernir las menores diferencias, con lo cual puede observarse cómo las medias entre cada grupo son muy diferentes entre sí.

GRÁFICA 1. INTERVALO DE CONFIANZA PARA LA MEDIA DEL GRUPO DE PREGUNTAS



Como se puede apreciar, para el grupo de Equipo de Museo, las preguntas 3, 4, 5, 6, 8, 9 y 10, tienen la misma media (no existe una diferencia significativa entre ellas), ya que de los 36 estudiantes ninguno respondió correctamente. Respecto al grupo en el que se utilizó la sugerencia didáctica, y en el que se trabajó con la presentación sugerida, se puede afirmar que hay más comprensión en este último, ya que el análisis estadístico señala que sus medias en general están más cercanas al valor de  $p=0,05$ .

La mayor diferencia significativa ocurre cuando se analiza la pregunta 6, sobre la medida de un cierto objeto en nanómetros (en este caso una bacteria). Esta diferencia se hace notable al comparar las medias entre grupos. Lo anterior significa que el grado de comprensión de esta pregunta es muy inferior al momento de utilizar el equipo del museo, comparado con cuando es resuelta con ayuda de la Sugerencia Didáctica y de la Presentación Sugerida, siendo esta última la que permite la mayor comprensión de todas (lo anterior se nota al revisar que la medida de la media tiende a acercarse más al valor de cero para ese caso).

A diferencia de lo anterior, cuando se pide a los estudiantes que indiquen ¿cuál es el menor objeto visible con el ojo desnudo? (pregunta 1), se encuentra que no hay una diferencia significativa entre las respuestas en los tratamientos Sugerencia didác-

tica y presentación sugerida, pero que sí se aprecia una gran diferencia significativa cuando se utilizan estos dos métodos y el denominado Equipo de Museo. Lo anterior señala que dicho equipo ni siquiera permite resolver un problema que resultó demasiado sencillo para los otros dos tratamientos.

Finalmente, si se comparan las medias de los tres últimos problemas, se verá la supremacía que tiene la Presentación sugerida sobre los otros dos tratamientos; puede decirse que este último no sólo facilita la comprensión de los conceptos, sino su aplicación a la resolución de problemas sencillos.

## Discusión

Como se había anunciado, la tercera prueba se derivaría de los obstáculos encontrados en la evaluación tanto de la propuesta didáctica como de la museográfica. Dichos obstáculos son:

1. El problema que representa el manejo de las potencias de diez, que resultan incomprensibles para los estudiantes y hacen que confundan los tamaños relativos de los objetos mostrados en la ilustración, aunque se les planteen problemas prácticamente resueltos, como indicarles la medida de un virus y pedirles que lo sitúen en la tabla. Este problema se abordó en la tercera propuesta ilustrada, haciendo ver a los estudiantes que en cada nueva medida se va subdividiendo en diez partes iguales la precedente (ver figura 3).
2. La dificultad con la traducción a escalas visibles que promueve la propuesta didáctica, ya que los alumnos encuentran complicado cambiar entre escalas, lo que les lleva a intentar una conversión de medidas entre la escala macroscópica y microscópica, para la cual no están capacitados. Este problema se abordó en la nueva propuesta, eliminando la conversión entre escalas, al quitar la escala de referencia macro.
3. El problema del desconocimiento de los organismos microscópicos o de los compuestos presentados, ya que a una persona que ignora lo que es un paramecio, un virus o una bacteria, le cuesta mucho trabajo ubicarlos en una escala de tamaños. Este problema se abordó, en la nueva propuesta, de dos maneras: en una, se plantearon tres ejemplos diferentes, intentando con ello buscar una gama mayor de organismos o estructuras que los estudiantes pudieran conocer, o por lo menos, haber escuchado en clase. Otra solución fue llevar el mismo ejemplo de lo macro a lo nano, tales son los casos del árbol a la molécula de carbono y de la aguja al ADN del virus.

Los resultados obtenidos mediante el empleo de la propuesta sugerida, que pueden revisarse en la tercera columna de la tabla 1, señalan un aumento notorio en el número de aciertos respecto a los tratamientos anteriores. En general, las respuestas correctas son significativamente mayores que para los otros dos trata-

mientos (ver gráfica 1) y, sobre todo, se presenta el mayor número de resultados correctos para las tres últimas preguntas o problemas, a las cuales el grupo contestó con exclamaciones que denotaban la obviedad de las preguntas. Con este último tratamiento (Presentación sugerida), se encontró, sin embargo, que hubo tres respuestas en las que se obtuvo un menor puntaje; en una de ellas (la segunda) hubo confusión en el grupo, ya que se les permitió elegir el ejemplo que prefirieran, pero se resolvió sugiriendo que escogieran uno sólo de los ejemplos, yendo del tamaño mayor al menor.

En particular, se encontraron mayores dificultades en la pregunta número 7, que solicita colocar una hilera de virus de 100 nm de ancho en un milímetro, problema en el que casi la mitad del grupo respondió incorrectamente. Cuando se indagó el posible origen del error, se pudo notar que se trató de la interpretación de la instrucción y no de la falta de comprensión del concepto.

Los resultados han mostrado la bondad de incluir, cuando se trata el tema de las escalas no visibles, las potencias de diez de manera simplificada; utilizar diversos ejemplos de objetos presentados en un continuo de tamaños y con organismos conocidos por los estudiantes. Igualmente, habrá que considerar que cuando se enseñe en el aula, se ilustre en materiales didácticos o de divulgación, o se exhiba en los museos de ciencia el tema de la nanotecnología y las nanoescalas, deberá buscarse, en primera instancia, la superación del obstáculo epistemológico que representa la interpretación de las nanoescalas, y no sólo exhibir, como comúnmente se hace (Torres, 2003), los productos comerciales o de investigación derivados de la nanociencia pero sin referencia a sus tamaños.

También deberán evitarse los materiales ilustrados carentes de referentes de escalas o plagados de ejemplos desconocidos para la mayoría de los estudiantes. A esto habrá que añadir otros aspectos que aclaren los tres restantes obstáculos reportados por la bibliografía (Crone, 2006), como son la apropiación del concepto de átomo y de su estructura y la naturaleza discontinua de la materia.

El trabajo presentado señala que la creación de elementos de exposición y materiales didácticos ilustrados requiere partir de la investigación educativa, ya que, cuando se basa en el conocimiento de las concepciones de los estudiantes y de sus obstáculos epistemológicos, redundante no solamente en una mejor comprensión de conceptos difíciles e inaccesibles, sino también en la posibilidad de aplicar los nuevos conocimientos a las demandas del entorno cultural actual.

El conocimiento y el abordaje de un primer obstáculo epistemológico para tratar el tema de la nanociencia, como la comprensión de las escalas utilizadas para medir objetos invisibles para el ojo humano, constituye una excelente puerta de entrada a esta importante rama de la ciencia que presenta ya un futuro prometedor y debería ser del dominio público.

## Referencias bibliográficas

- ANCEL, P. y POLI, M. (2008). Opinion publique et nanotechnologies. *La Lettre de L'Ocim*, 118, 4-12.
- BACHELARD, G. (1994). *La Formación del Espíritu Científico*. México: Siglo XXI Editores.
- BAINBRIDGE, W. (2002). Public attitudes toward nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 4, 561-570.
- BROWN, J. (1996). Illustration and inference. En B. Baigrie (ed.), *Picturing knowledge* (pp.72-81). Toronto: University of Toronto Press.
- CRONE, W. (2006). Bringing nano to the public: a collaboration opportunity for researchers and Museums. En S. Koch (Ed.), *NISE Network* (pp.1-22). St. Paul, MN: Science Museum of Minnesota.
- FALK, J. (2002). The contribution of free choice science learning to public understanding of science. *Interciencia*, 27, 62-65.
- GERBER, B., CAVALLO, A. & MAREK, E. (2001). Relationships among informal environments, teaching procedures and scientific reasoning abilities. *International Journal of Science Education*, 23(5), 535-549.
- HALL, B. (1996). The didactic and the elegant. En B. Baigrie (Ed.), *Picturing knowledge* ( pp. 112-124). Toronto: University of Toronto Press.
- HEINRICH, R., MOLENDAM, M., RUSSEL, J. & SMALDINO, S. (2002). *Instructional media and technologies for learning*. Nueva York: Merrill Prentice Hall.
- HODSON, D. (1986). Rethinking the role and status of observation in science education. *Journal of Curriculum Studies*. 184(4), 381-396.
- LATOUR, B. (1986) Visualisation and cognition: thinking with eyes and hands. En *Knowledge and society: studies in the sociology of culture, past and present*. 6, 1-40.
- LOWE, R. (2000). Visual Literacy and learning science. *ERIC Digest#ED463945*. Columbus, OH: ERIC Clearinghouse for Science, Mathematics and Environmental Education. Extraído el 29 de septiembre de 2004, desde <http://www.ericafclity.net/ericdigests/ed463945.html>
- LUCAS, A. (1991). Info-attainment and informal sources for learning science. *International Journal of Science Education*, 13(5), 495-504.
- MEDVED, M. & OATLEY, K. (2000). Memories and scientific literacy: remembering exhibits from a science centre. *International Journal of Science Education*, 22(10), 1117-1132.
- OLIVA, J., MATOS, J., BUENO, E., BONAT, M., DOMÍNGUEZ, J., VÁZQUEZ, A. y ACEVEDO, J. et al. (2004). Las exposiciones científicas escolares y su contribución en el ámbito afectivo de los alumnos participantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), 435-440.

- PÉREZ DE EULATE, L., LLORENTE, E., y ANDRIEU, A. (1997). Las imágenes en los libros de texto de ciencias. Un estudio en la educación primaria. En A. San Martín (Ed.), *Del texto a la imagen, paradojas en la educación de la mirada* (pp. 121-140). Valencia: Nau llibres.
- PÉREZ DE EULATE, L., y LLORENTE, E. (1998). Las imágenes en la enseñanza-aprendizaje de la biología. *Alambique*, 16, 45-55.
- REID, D., & BEVERIDGE, M. (1990). Reading illustrated science texts: a microcomputer based investigation of children's strategies. *British Journal of Educational Psychology*, 60, 76-87.
- RIX, C., & MCSORLEY, J. (1999). An investigation into the role that school-based interactive science centres may play in the education of primary-aged children. *International Journal of Science Education*, 21(6), 577-593.
- SALOMON, G. & LEIGH, T. (1984). Predispositions about learning from print and television *Journal of Communication*, 2(34), 119-135.
- SALINAS, D. & SAN MARÍN, A. (1997). Las imágenes en los libros de texto de ciencias. Un estudio en la educación primaria. En A. San Martín (Ed.), *Del texto a la imagen, paradojas en la educación de la mirada* (pp. 90-104). Valencia: Nau llibres.
- SÁNCHEZ-MORA, C. (2006). La exposición museográfica como apoyo a la enseñanza de la mecánica cuántica. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(30), 913-942.
- SÁNCHEZ-MORA, C. y HERRERA, C. (2000). La enseñanza de las escalas invisibles. *Correo del Maestro*, 16(21), 27-32.
- SCHNOTZ, W. (2002). Towards an integrated view of learning from text and visual displays. *Educational Psychology Review*, 14(1), 101-120.
- SCHEUFELE, D. & LEWENSTEIN, B. (2005). The public and nanotechnology: How citizens make sense of emerging technologies. *Journal of Nanoparticle Research*, 7, 659-667.
- SCHIBECI, R. (1989). Home, school, and peer group influences on student attitudes and achievement in science. *Science Education*, 72, 13-24.
- STEVENS, M., OWENS, C. & WUHRER, R. (2002). Nanotechnology in society. *Australian Science Teachers' Journal*, 48(3), 22-27.
- TORRES, C. (2003). *Quantum Mechanics in Science Museums. Informe de investigación*. Science Education Department, Barcelona: Universitat Autònoma.
- VÁZQUEZ, A. y MANASSERO, M. (2007). Las actividades extraescolares relacionadas con la ciencia y la tecnología. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 9(1). Extraído el 1 de mayo de 2007, desde <http://redie.uabc.mx/vol9no1/contenido-vazquez3.html>

