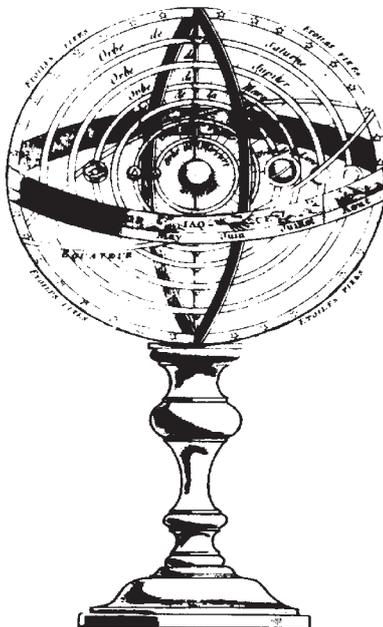


INNOVACIONES DIDÁCTICAS



UN SITIO WEB PARA LA APROXIMACIÓN FENOMENOLÓGICA DE LA ENSEÑANZA DE LA LUZ Y LA VISIÓN

GAGLIARDI, MARTA¹, GIORDANO, ENRICA² y RECCHI, MAURIZIO¹

¹Università di Bologna, viale Berti-Pichat 6/2. 40127 Bologna. Italia

²Università di Milano-Bicocca, Piazza Ateneo Nuovo 1. 20126 Milán. Italia

enrica.giordano@unimib.it

Resumen. Presentamos las características de una página web sobre «Luz y visión» que diseñamos y preparamos para profesores (desde parvulario a 4º de ESO) con la intención de guiarlos por un itinerario desde el conocimiento que da el sentido común hasta la física. Además de experimentos y modelos interpretativos de fenomenología básica, proponemos ejemplos de trabajos realizados en escuelas por profesores (en parvularios y escuelas primarias y secundarias) en colaboración con nuestro grupo de investigación. La página fue desarrollada en el marco del proyecto italiano SeCiF (Spiegare e Capire in Fisica – Explicar y comprender en física) dedicado a preparar materiales (principalmente materiales de página web y redes telemáticas) para la formación de profesores en servicio y futuros profesores sobre una enseñanza innovadora de la física desde el parvulario a la escuela secundaria.

Palabras clave. Página web, luz, visión, formación docente, escuela primaria.

A place in the web for a phenomenologic approach to the teaching of light and vision

Summary. We will present the characteristics of a Web site about «Light and Vision» we designed and prepared for teachers (of grades K-10) with the aim to drive them along a path from common knowledge to physics. In addition to experiments and interpretive models of basic phenomenology we propose examples of works made in schools by teachers (in some kindergarten, primary and secondary school classes) working with our research group. The site was developed inside of the Italian project SeCiF (Spiegare e Capire in Fisica - Explaining and Understanding in Physics) devoted to prepare materials (mainly Web materials and telematic networks) for in service and future teachers training about an innovative teaching of physics from kindergarten to secondary school.

Keywords. Web site, light, vision, teacher training, primary school.

EL CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo que presentamos fue realizado en el marco del proyecto nacional de investigación SeCiF (Spiegare e Capire in Física¹– Explicar y entender la física) cuyo objetivo es el diseño y realización de productos, en particular sitios web y redes telemáticas, para la formación inicial y continua de los docentes. En SeCiF se puede hallar una serie de propuestas emblemáticas articuladas en un amplio abanico de temas y de niveles escolares. «Luz y visión»² es un sitio dedicado a los docentes de la escuela primaria y de la secundaria de primer grado (alumnos entre 11 y 14 años). El sitio fue diseñado y realizado con la intención de orientar a los docentes en la organización y gestión de itinerarios de enseñanza-aprendizaje que, partiendo del conocimiento común, conduzcan a los alumnos a la construcción gradual de descripciones e interpretaciones de los fenómenos luminosos que sean correctas desde el punto de vista de la disciplina (Gagliardi, y Giordano, 2001).

El proyecto se basa en los resultados del grupo italiano de investigación en didáctica de la física en los últimos veinte años: «es posible lograr que una extensa población de estudiantes alcance un buen nivel de comprensión progresiva de la física si se activan estrategias de enseñanza coherentes y eficientes, sobre temas amplios y con un vasto campo de acción» (Guidoni, en prensa); «nuestra estrategia de enseñanza debe ser modelizada de manera que provoque [...] reacciones de aprendizaje y comprensión altamente resonantes» (Guidoni, en prensa); «dado que existen problemas en la comprensión de los conceptos físicos tal como se presentan en la secuencia tradicional sería importante explorar nuevos modos de organización del conocimiento de la física» (Vicentini, en prensa); «de manera tal que quien aprende entienda los conceptos físicos y aprecie el valor cultural de la física» (Grimellini Tomasini, en prensa).

De acuerdo con estos resultados de la investigación pensamos que es posible guiar el proceso de construcción del conocimiento de los conceptos y de los procedimientos fundamentales de la física a partir de la educación infantil y a lo largo de todos los niveles de la enseñanza obligatoria si los docentes están específicamente preparados y formados³. (Arcà, Guidoni y Mazzoli, 1990; Alfieri, Arcà y Guidoni, 1995; Alfieri, Arcà y Guidoni [dirs.], 2000; Cavallini, Giordano y Marioni, 1991; Gagliardi¹ y Guidoni, 1991; Grimellini Tomasini y Pecori, 1991; Gagliardi, Grimellini Tomasini y Pecori, 1999).

El formato web ofrece, en contraste con aquéllos más tradicionales (artículos de revistas, libros...) una flexibilidad de consulta y uso mucho mayor y permite una actualización continua del material (extensión, profundización, revisión, documentación...) en función de las exigencias tanto de los redactores como de los usuarios.

LUZ Y VISIÓN: LAS HIPÓTESIS BÁSICAS

Dentro del marco anteriormente descrito, consideramos que enseñar óptica significa guiar a los estudiantes desde sus percepciones y emociones cotidianas, sus modos in-

diferenciados de considerar la luz, la visión, la sombra, la oscuridad... hacia el punto de vista de la física, para que se den cuenta de que la óptica es uno, entre los múltiples puntos de vista construidos por la cultura para afrontar este tema (entre otros: religión, filosofía, geometría, astronomía, fisiología, psicología, literatura, arte, tecnología...).

A pesar de la importancia de la visión y la difusión de las experiencias cotidianas que hacen referencia a ella, generalmente la descripción e interpretación física de los fenómenos luminosos está muy alejada del conocimiento común (Viennot, 1996; Galili y Hazan, 2000) y la enseñanza de la óptica descuida el problema de la visión (Viennot, 2002). En el desarrollo del conocimiento científico (y no sólo científico) en los niños, así como también en el desarrollo histórico, el problema no es la «luz» en sí misma, sino la luz en su estrecha relación con el hecho de ver o de reconocer... Ha sido necesario mucho tiempo para llegar a distinguir entre *lux* y *lumen*, a comprender que se puede estudiar la luz (o, en términos actuales, la radiación) sin tener en cuenta el receptor (el ojo), a entender que el proceso de la visión no se reduce a la formación de las imágenes en la retina, a vincular nuevamente radiación y a observar para interpretar, con la ayuda de la biología, entre otras disciplinas, conceptos como el *color*⁴. Actualmente la ciencia dispone de una gran cantidad de conocimientos sobre la visión pero aún no está todo comprendido y esto hace que el tema sea más fascinante.

La secuencia tradicional de enseñanza de la óptica reduce el proceso de la visión a un registro «pasivo», como en una cámara oscura o una máquina fotográfica; sin embargo, desde una perspectiva cultural más amplia, esto se considera como un serio error conceptual. Repensar la física de los fenómenos luminosos para comprender los aspectos culturales y formativos, más allá de aprender los aspectos informativos nos ha llevado a proponer un acercamiento a los fenómenos de la óptica geométrica mediante el tratamiento paralelo de los dos puntos de vista de la «luz» y del «ojo». Pensamos que este enfoque es culturalmente significativo para los docentes en el plano de la preparación personal y útil en el de la preparación profesional, ya que proporciona instrumentos eficaces para enseñar, favorecer el aprendizaje y prevenir la formación de concepciones alternativas inducidas por la enseñanza tradicional de la óptica.

En coherencia con el modelo «resonante» de los procesos de aprendizaje (antes mencionado), hemos elegido un enfoque fenomenológico que involucra al que aprende en el juego recíproco entre la experiencia, el lenguaje, la representación y la interpretación, característico del proceso de construcción del conocimiento científico (Guidoni, 1975; Bonelli Majorino, Gagliardi y Giordano, 1999).

LAS FINALIDADES DEL PROYECTO

El punto de partida ha sido considerar los resultados de las investigaciones nacionales e internacionales sobre los obstáculos conceptuales que dificultan la comprensión desde el punto de vista científico de los fenómenos

fundamentales de la óptica. También hemos revisado las experiencias desarrolladas desde los primeros años de la década de 1980 (Gagliardi, Guidoni, Maturó y Volpe, 1982; Gagliardi y Guidoni, 1991; Giordano, 2002; Samek Lodovici y Giordano, 2003) por el grupo de investigación (maestros, estudiantes y profesores universitarios) que trabajó durante mucho tiempo en diversas clases-laboratorio de distintos niveles escolares.

Hemos diseñado el sitio con los siguientes objetivos:

– Proporcionar un mapa del «territorio de la óptica».

«Luz y visión» describe el importante rol de la luz en muchos aspectos de nuestra cultura (religión, arte, filosofía...) y subraya la contribución de las diferentes disciplinas (biología, psicología, neurociencias, además de la física) a la comprensión e interpretación del proceso de la visión en especial.

– Sugerir un itinerario conceptual para afrontar y superar los obstáculos conceptuales señalados en la literatura.

Los temas que proponemos se sitúan sobre todo en el área de la óptica geométrica que hemos revisado abordando sistemáticamente las cuestiones «qué hace la luz» y «qué se ve». Cuando es necesario, para subrayar los límites interpretativos de la óptica geométrica, hacemos referencia a conceptos de la óptica física y sugerimos enlaces a otros sitios relacionados. Los bloques fundamentales del itinerario conceptual que guía al alumno desde las ideas y experiencias cotidianas hacia el conocimiento científico son: construcción del esquema básico fuente-objeto-observador; exploración de los «espacios de luz» y «espacios de sombra» tridimensionales; identificación de las diversas fenomenologías que se yuxtaponen cuando la luz interactúa con la materia; estudio de estas fenomenologías por separado; reinterpretación de la experiencia cotidiana. Cada paso del itinerario conceptual presenta: experiencias del mundo real; puntos de vista del conocimiento común; puntos de vista del conocimiento científico; experimentos con material de bajo costo; conceptos físicos, modelos y leyes.

– Preparar material flexible.

Se ha diseñado un material que pueda ser empleado por usuarios con diferentes grados de preparación básica en física y diferentes actitudes hacia la ciencia y la matemática, como los maestros de educación infantil y primaria (que en Italia tienen actualmente una formación preferentemente sociopedagógica y, en general, con deficiencias en cuanto a conocimientos científicos) y los docentes de ciencias de la escuela media y secundaria superior (que en Italia son licenciados en materias científicas y tienen una preparación, en general, deficiente en el plano pedagógico y didáctico).

– Guiar a quien utilice el sitio para que alcance las competencias profesionales necesarias para el nivel escolar en el cual enseña.

Sugerimos situaciones que se pueden construir y observar. Proponemos modos de describir los fenó-

menos según niveles de interpretación y formalización diferenciados a partir de los distintos niveles de edad, desde la educación infantil hasta la secundaria. Muchas de las actividades experimentales propuestas pueden ser realizadas por alumnos de la escuela primaria, especialmente las observaciones conducidas en contextos de la vida cotidiana y los experimentos cualitativos. A partir de los últimos años de la escuela primaria se puede introducir gradualmente el nivel cuantitativo realizando experimentos y discutiendo modelos que conducen a la formulación de leyes y relaciones generales.

– Documentar itinerarios de aprendizaje realizados en diferentes niveles de escolaridad que pueden sugerir diversos modos de explorar el territorio de los fenómenos ópticos.

Hay ejemplos de trabajos realizados según los modelos propuestos en clases experimentales con estudiantes de diversas edades. El análisis de los trabajos (en algunos casos, guiado) permite individualizar tanto los conocimientos, las habilidades y las estrategias cognitivas que caracterizan a los alumnos de las diversas edades como la acción de mediación entre el conocimiento espontáneo y el conocimiento científico que llevan a cabo los adultos que guían las experiencias.

CARACTERÍSTICAS Y ORGANIZACIÓN DEL SITIO

El sitio está organizado en cuatro apartados principales: introducción, cuadro de referencia, itinerarios y recursos.

Itinerarios: constituye la parte principal del sitio y allí se presenta la propuesta de trabajo que luego será descrita de manera más detallada.

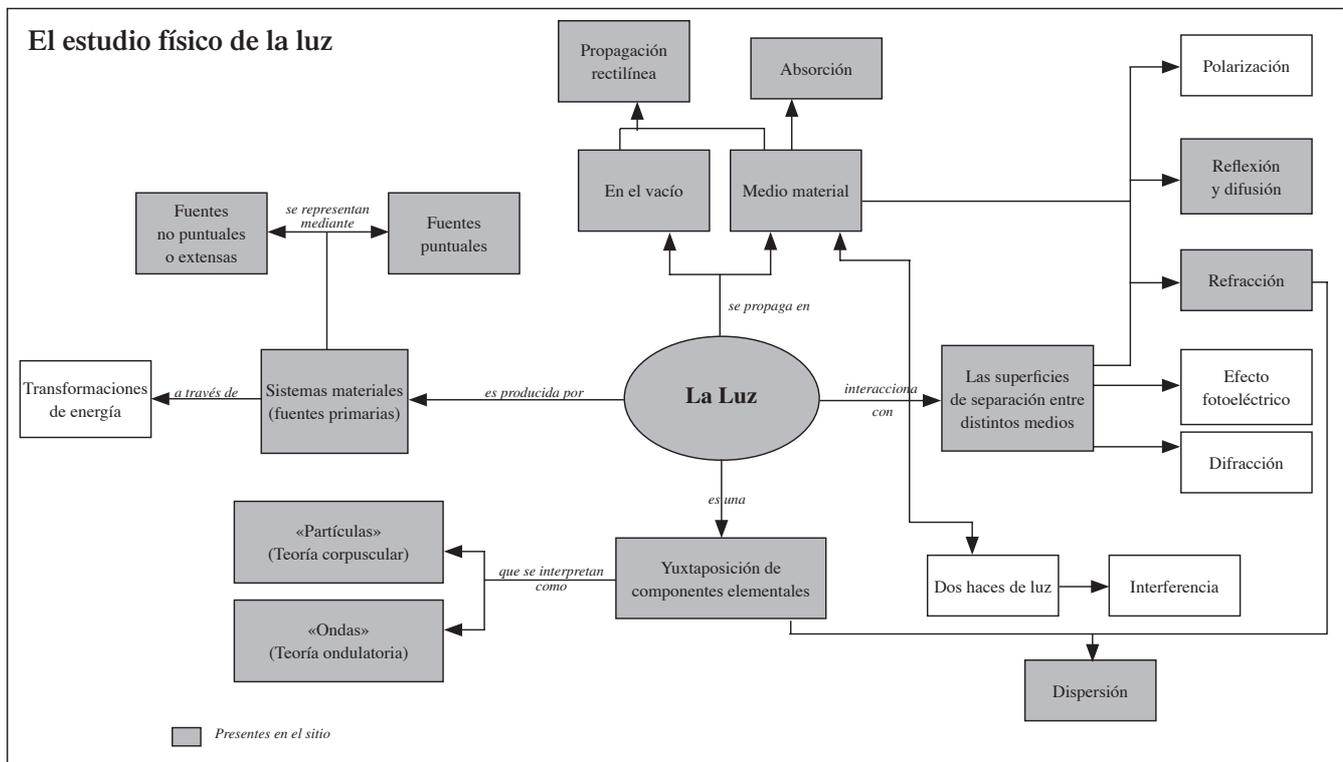
Introducción:

(http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/fram_introduzione.htm) presenta sintéticamente las hipótesis de los autores respecto a los procesos de aprendizaje y al rol del docente y de la escuela. Es un texto que se puede descargar e imprimir.

Cuadro de referencia:

(http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/fram_quadro.htm) presenta el tema de la luz y la visión encuadrado en el panorama más general de la cultura. Se presentan diversas secciones que tratan aspectos seleccionados desde diversos puntos de vista disciplinarios. La sección dedicada al *Arte* (<http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/pittura/prima.htm>) y la dedicada a la *Biología* (<http://www.reframe.it/biovisione/>) fueron desarrolladas para este proyecto; otras contienen indicaciones bibliográficas o envían a otros materiales presentes en otros sitios y que han sido elaborados en el marco de proyectos con un planteamiento similar al de SeCiF. En la sección *Física* (<http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/Fisica.htm>), los temas de «Luz y visión» se ubican dentro del panorama más amplio de la física de la radiación (Fig. 1).

Figura 1
El esquema muestra los temas tratados en el sitio «Luz y visión» en una red conceptual que representa el panorama completo de la física y la radiación.



Recursos:

(http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/fram_risorse.htm) presenta diversos tipos de instrumentos que se pueden emplear en la programación y experimentación de itinerarios didácticos; se hallan agrupados en cuatro secciones: a) *Actividades experimentales* (reúne las propuestas presentadas en las distintas partes del sitio). b) *Documentos de clase* (informes de las experiencias de clase con fotos, dibujos, transcripciones de discusiones, etc.). c) *Evaluación* (reflexiones y sugerencias sobre las formas de seguimiento y evaluación coherentes con el planteamiento de nuestra propuesta; el texto fue escrito expresamente para este proyecto por investigadores del campo de las ciencias de la educación). d) *Bibliografía* (libros, artículos, sitios web para profundizar sobre los aspectos de contenido, tanto metodológico como didáctico).

Itinerarios:

(http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/fram_percorsi.htm) presenta un itinerario representativo de la construcción y relectura de las modalidades científicas de mirar los fenómenos vinculados a la luz y a la visión a través de tres etapas fundamentales (el análisis de situaciones de la vida cotidiana; la realización de experiencias controladas y experimentos de laboratorio; la construcción de esquemas y de modelos interpretativos básicos) que permiten acceder a la interpretación de los fenómenos cotidianos. Hasta ahora se han realizado tres secciones: «Ver a través del aire», «El ojo engañado» y «Fenómenos separados».

«Ver a través del aire»:

(http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/Aria_Ifase/aria.htm) afronta el problema de la visión y del comportamiento de la luz en el caso más simple y general: *la visión directa de objetos por parte de un observador*. Guía al usuario a través de los pasos fundamentales necesarios para construir la idea de la luz como agente físico que hace posible la transmisión de información desde los objetos observados al observador: propagación rectilínea de la luz, modelo de la visión propuesto por Kepler en el siglo XVII.

Este modelo establece una correspondencia punto a punto entre el espacio visual y la estructura del receptor e introduce la idea de «imágenes⁵ retinianas de los objetos» construidas mediante conos de luz.

A pesar de su formalización geométrica sencilla, el modelo no es intuitivo. Una de las principales dificultades consiste en conciliar la percepción de la visión (una colección de «unidades» perceptivas correspondientes a cada objeto distribuidas en un espacio continuo) con un modelo de espacio visual como conjunto de «puntos» discretos que envían informaciones independientes al ojo.

Otra dificultad consiste en imaginar el espacio «luminoso» como un conjunto de zonas contiguas diversamente iluminadas y en relacionar dicho espacio (lleno de luz «invisible») con el modelo discreto de la luz como conjunto de rayos.

En resumen, es difícil imaginar la propagación de la luz como un proceso de emisión continua de radiación desde una fuente.

Para superar estas dificultades, en el sitio se sugieren muchas actividades y se presentan diversos esquemas y animaciones espacialmente elaboradas.

Veamos unos ejemplos (Fig. 2):

– Las formas tridimensionales de los «espacios de luz» y los «espacios de sombra» se pueden explorar mediante el uso de objetos adecuados (siluetas compactas o con aberturas, tubos de varias dimensiones). También se pueden construir mediante la recomposición de «máquinas de luz» y de «máquinas de sombra» recogidas en pantallas móviles (2a-2b), entre otros (http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/Aria_Ifase/Esperimenti/Visualizzare_la_luce.htm).

– Modelizaciones concretas (p. e., conos de papel, espaguetis insertados en una bolita de porexpan...) y simulaciones por ordenador (en la figura 2c se muestran tres instantáneas extraídas de una animación; http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/Aria_Ifase/modelli_per_natura_e_propagazione.htm) ayudan a introducir el modelo de rayos como eje central de los conos de luz elementales, y éstos, a su vez, como constituyentes de los haces de luz emitidos por cada fuente puntual.

– Esquemas sucesivos acompañan el proceso de interpretación de la experiencia cotidiana a través de los modelos de la física (Fig. 2d y http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/Aria_Ifase/Schede/Interno%20torcia.htm).

«El ojo engañado»:

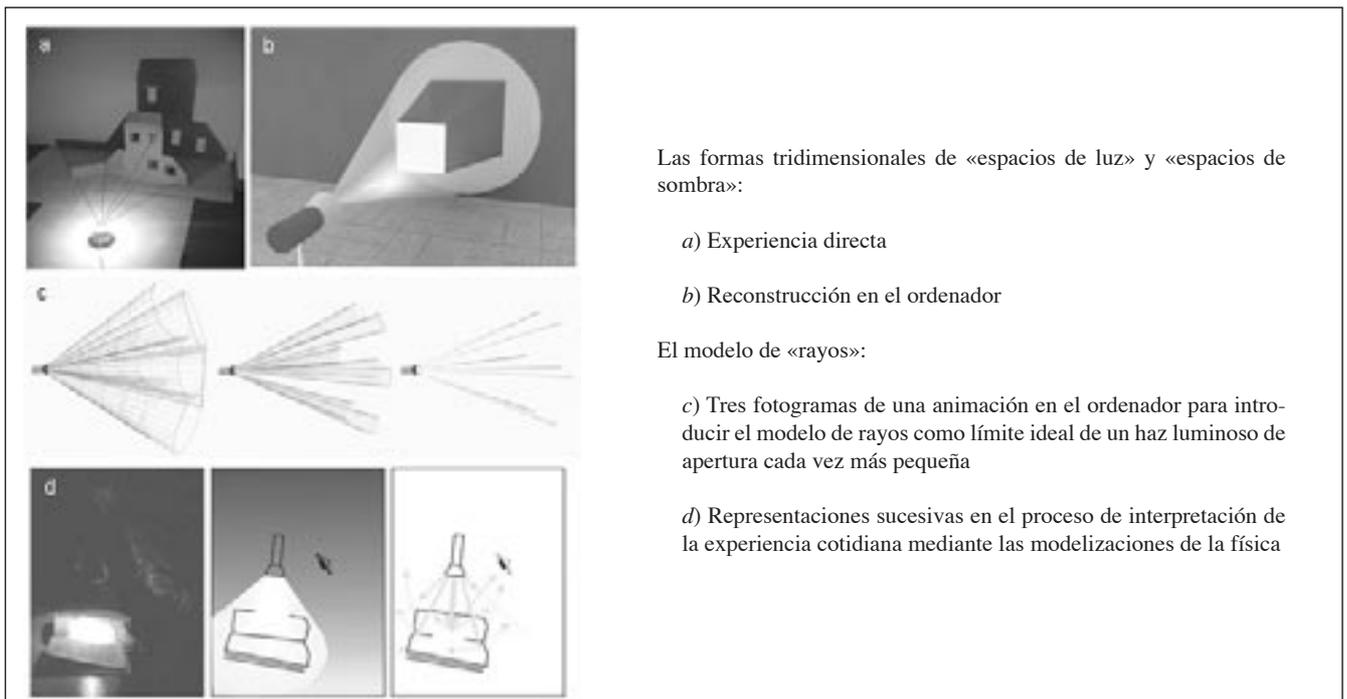
(<http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/Occhio/occhio.htm>) afronta el problema de la visión y del comportamiento de la luz en el caso en que, entre el observador y el objeto observado, se interpongan objetos o medios diferentes del aire (espejos, vidrio, agua ...) e introduce la necesidad de aprender a distinguir, estudiar separadamente y, por lo tanto, correlacionar los diversos fenómenos que se producen simultáneamente en la interacción entre luz y materia (Fig. 3 y http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/Esperimenti/Immagini_rif/conclusioni_finali.htm).

Esta sección se basa en evidencias perceptivas: en ella se clasifican las diversas fenomenologías y se identifican los aspectos característicos de las imágenes visuales relativos a cada una de ellas.

«Fenomenologías separadas»:

(http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/fram_fenomsep.htm) está subdividido en secciones correspondientes al estudio de cada fenómeno señalado en la sección precedente (reflexión, difusión, refracción, absorción). El objetivo de este apartado es explicar la existencia de tales fenómenos (el mundo «en el espejo», el acuario «aplastado», el remo «quebrado» o «doblado...») a través del comportamiento de la luz y de los modelos interpretativos introducidos en la sección «Ver a través del aire» para relacionar, en un primer nivel, los dos aspectos de *luz* y *visión*. Partiendo de las experiencias cuantitativas y cualitativas sobre el comportamiento de los conos de luz producidos por una linterna y por punteros láser, se reconstruyen todos los pasos que permiten interpretar las características espaciales de las percepciones visuales mediante el modelo de rayos para la luz y el de Kepler para la visión. Una sección

Figura 2



Las formas tridimensionales de «espacios de luz» y «espacios de sombra»:

- a) Experiencia directa
- b) Reconstrucción en el ordenador

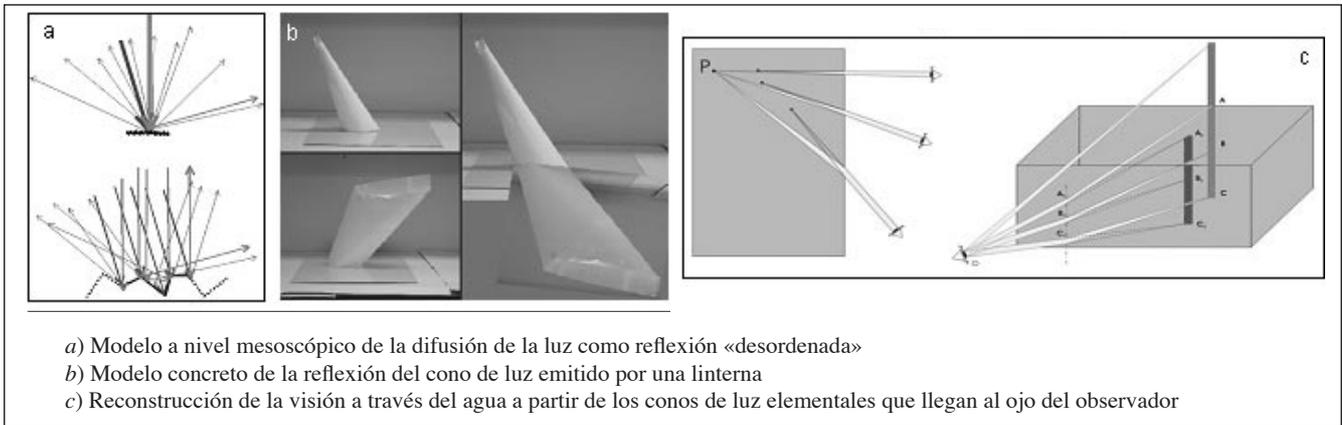
El modelo de «rayos»:

- c) Tres fotogramas de una animación en el ordenador para introducir el modelo de rayos como límite ideal de un haz luminoso de apertura cada vez más pequeña
- d) Representaciones sucesivas en el proceso de interpretación de la experiencia cotidiana mediante las modelizaciones de la física

Figura 3
 Cómo distinguir imágenes reflejadas e imágenes refractadas respectivamente, por eliminación del medio refringente y de las superficies reflectantes.



Figura 4



posterior («Más allá del modelo de rayos») apunta sintéticamente a los dos aspectos de la óptica física que no pueden ser modelizados en el ámbito de la óptica geométrica: *la intensidad de la luz* (definición y medida, dependencia de la distancia de la fuente o del espesor del material interpuesto entre la fuente y el receptor, usos de la energía luminosa...) y *el color* (color de la luz, de los colorantes, percepción del color).

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

En relación con el estudio de los fenómenos luminosos, consideramos que los aprendizajes fundamentales, a nivel de la escuela primaria, desde el punto de vista de la interpretación física, tanto de nosotros mismos como del mundo que nos rodea, son:

– La comprensión de que lo que vemos depende del modo en que llegan a nuestros ojos los haces de luz provenientes de las regiones «visibles» de los objetos (regiones de las cuales parten los haces de luz que llegan al ojo). La física estudia cómo dicho modo depende de los medios y de las superficies que la luz (y, por lo tanto,

los haces de los cuales está compuesta) encuentra en su recorrido desde el objeto hasta la retina del ojo.

– La comprensión de que los aspectos geométricos de la propagación de la luz en el espacio se pueden interpretar en base al modelo de rayos, a las leyes de la refracción y de la reflexión de los rayos, a las características geométricas mesoscópicas (superficie ópticamente lisa o rugosa) y macroscópicas (superficie plana o curva) de las superficies de separación entre ellos.

– La comprensión de que existen fenómenos cuya descripción e interpretación escapan de las posibilidades explicativas del modelo de rayos.

«Luz y visión» propone observaciones, experiencias, modelizaciones concretas y formales que permiten relacionar, utilizando el modelo de rayos para la luz y el modelo de Kepler para la visión, las propiedades geométricas de los «espacios visuales» y de los «espacios de luz». Véase el ejemplo de la figura 4: a) modelo a nivel mesoscópico de la difusión de la luz como reflexión «desordenada» (http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/diffusione_per_riflerif_cosafalaluce.htm); b) modelo concreto de la reflexión del cono de luz emitido por una linterna (<http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/>

Riflessione_Cosafalaluce.htm); c) reconstrucción de la visión a través del agua (dependencia del punto imagen de la posición de observación y reconstrucción del «objeto quebrado») a partir de los conos de luz elementales que llegan al ojo del observador (http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione/rifrazione_cosavedelocchio.htm).

Para evitar la aparición de las concepciones alternativas que caracterizan el aprendizaje de la óptica geométrica (Galili, 1996; Goldberg y McDermott, 1987; Viennot 1996; Viennot, 2002), se pone especial atención en:

- Distinguir y relacionar los dos aspectos: «qué hace la luz» y «qué se ve».
- Experimentar con diferentes haces de luz (de linterna, láser, sol, bombillas de diferentes tamaños...) en el espacio (en vez de limitarse a considerar unos pocos rayos ideales seleccionados y dibujados en el papel).
- Construir modelos y representaciones tridimensionales de los haces de luz y de los rayos provenientes de una fuente puntual.
- Construir representaciones de cada uno de los haces de luz que permiten componer las imágenes retinianas, las cuales son la base del proceso de la visión.

Exceptuando las leyes de la reflexión y de la refracción, no se afrontan otras relaciones cuantitativas. En el sitio no se vuelven a proponer los diversos sistemas ópticos que constituyen, por lo general, la parte central del estudio de la óptica geométrica sino que se envía a diversos textos y a los sitios web que presentan construcciones interactivas de las imágenes. Estamos convencidos de que, sin una conceptualización correcta de las situaciones básicas en las que se centra la **luz y la visión**, el estudio de tales sistemas conduce a un mero adiestramiento en el trazado de rayos y a la construcción mecánica de las imágenes sin que haya una comprensión real de qué es una imagen.

Por otra parte, una vez adquirida tal conceptualización no sólo facilita los aprendizajes sucesivos sino también una apropiación cultural más duradera de la memorización de las leyes específicas y del funcionamiento de los instrumentos ópticos más conocidos.

Hemos realizado tests a futuros docentes (nuestros estudiantes de los cursos universitarios son los futuros docentes de la escuela infantil, la primaria y la secundaria), los resultados de los cuales nos han llevado a modificar el sitio para hacer que cada categoría se pueda consultar separadamente como recurso para la programación de itinerarios didácticos por parte de los docentes. En par-

ticular, hemos ido enriqueciendo la sección «Recursos», dedicada a documentar experiencias significativas desarrolladas en clases reales y a ofrecer sugerencias para realizar un seguimiento y una evaluación coherentes con los métodos de enseñanza propuestos por el modelo «resonante» adoptado. Un esquema añadido recientemente ilustra las etapas conceptuales y operativas de un posible desarrollo curricular del tema luz y visión entre los 6 y los 16-17 años, distinguiendo por año o bienio escolar:

- Temáticas que pueden ser afrontadas y actividades de clase relacionadas con ellas.
- Conocimientos y habilidades a adquirir.
- Aspectos generales de la educación científica involucrados.

Actualmente estamos diseñando una ampliación de la propuesta que va más allá de la óptica geométrica mediante la realización de un nuevo sitio sobre el tema «Ondas visibles» (estudio de los principales fenómenos y construcción de un modelo de referencia para la acústica, la óptica y, en general, las ondas electromagnéticas). Estamos interesados en un intercambio de opiniones sobre nuestra propuesta con investigadores de otros países ocupados en la preparación cultural y profesional de los docentes y en la innovación escolar. También tenemos interés de llevar a cabo una validación de nuestro enfoque a través de la experimentación y el seguimiento de nuestro modelo por parte de los investigadores y docentes ajenos a nuestro grupo de investigación.

NOTAS

* Artículo traducido del italiano por Silvia Gamero.

¹ <http://pctidifi.mi.infn.it/SeCiF/>.

² <http://pctidifi.mi.infn.it/lucevisione>.

³ Disponer de un buen material escrito (o electrónico) es un elemento importante para la preparación de los docentes pero no es suficiente; ha quedado demostrado en proyectos recientes, como, por ejemplo, el proyecto STTIS <http://www.ils.uio.no/forskning/sttis/engelsk.html>.

⁴ Para una discusión sobre la necesidad u oportunidad de distinguir entre luz y radiación, véanse los libros de Ronchi sobre óptica (y sobre su historia y enseñanza), por ejemplo, *Optics: the science of vision* (1991).

⁵ El término *imagen* se suele usar con diversos significados y esto genera muchas concepciones erróneas. En nuestro sitio se dedica una especial atención a distinguir los diferentes significados (por ejemplo, a diferenciar las «figuras luminosas» que se obtienen sobre el fondo de una cámara oscura formada por un simple agujero, de las «imágenes ópticas» propiamente dichas).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCÀ, M., GUIDONI, P. y MAZZOLI, P. (1990). *Enseñar ciencia. Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base*. Barcelona: Paidós.
- ALFIERI, F., ARCÀ, M. y GUIDONI, P. (dir.) (1995). *Il senso di fare scienze*. Milán: Bollati Boringhieri.
- ALFIERI, F., ARCÀ, M. y GUIDONI, P. (dir.) (2000). *I modi di fare scienze*. Milán: Bollati Boringhieri.
- BONELLI, MAJORINO P., GAGLIARDI, M. y GIORDANO, E. (2003) Métacognition et éducation scientifique, en Doudin, P.A., Martin, D. y Albanese, O. *Métacognition et éducation*, pp. 243-264. Peter Lang (1999).
- CAVALLINI, G., GIORDANO, E. y MARIONI, C. (1991). *La Ricerca per la Scuola di Base a Milano*, en Guidoni, P. (dir.). *Educazione Scientifica nella Scuola di Base*, p. 89. Pavia: La Goliardica Pavese.
- GAGLIARDI, M., GUIDONI, P., MATURO, C. y VOLPE, F. (1982). La luce: sperimentazione di un insegnamento integrato di fisica e matematica nella scuola media. *La Fisica nella scuola*, XV, 1, pp. 26-33.
- GAGLIARDI, M. y GUIDONI, P. (1991). *La Ricerca per la Scuola di Base a Napoli*, en Guidoni, P. (dir.). *Educazione Scientifica nella Scuola di Base*, pp. 123-169. Pavia: La Goliardica Pavese.
- GAGLIARDI, M., GUIDONI, P. y VOLPE, F. (dirs.) (1990). Luce: un percorso per capire, en Balzano, E. y Gagliardi, M. (dirs.). *Futuro Remoto, Facciamo un esperimento*, pp. 43-70. Edizioni CUEN.
- GAGLIARDI, M., GRIMELLINI TOMASINI, N. y PECORI, B. (1999). L'educazione scientifica: un percorso che parte da lontano. *La Fisica nella Scuola*, XXXII, 3, pp. 121-134.
- GAGLIARDI, M. y GIORDANO, E. (2001). Light and Vision: a web material to prepare inservice and prospective teachers to teach Physics in primary school. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, p. 285.
- GALILI, I. (1996). Students' conceptual change in geometrical optics *Int. J. Sc. Educ.*, 18(7), pp. 847-868.
- GALILI, I. y HAZAN, A. (2000). Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. *Int. J. Sci. Educ.*, 22(1), pp. 57-88.
- GIORDANO, E. (2002). Percorsi di apprendimento. *TD*, vol. 27, pp. 21-28.
- GOLDBERG, F.M. y McDERMOTT, L. (1987). An investigation of students' understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. *Am. J. Phys.*, 55, 2, pp. 108-119
- GRIMELLINI TOMASINI, N. y PECORI, B., (1991). *La Ricerca per la Scuola di Base a Bologna*, en Guidoni, P. (dir.). *Educazione Scientifica nella Scuola di Base*, pp. 3-62. Pavia: La Goliardica Pavese.
- GRIMELLINI, TOMASINI, N. (en prensa). *Teaching Physics from a cultural perspective: Examples from Research in Physics Education*, Proceedings of Course CLV *Research on Physics Education* of the Italian Physical Society (2003), editado por E.F. Redish y Matilde Vicentini.
- GUIDONI, P. (1985). On natural thinking. *Eur. J. Sci. Educ.* 7(2), pp. 133-140.
- GUIDONI, P. (en prensa). *Re-thinking Physics for teaching: Research Problems and Hints*, Proceedings of Course CLV. *Research on Physics Education* of the Italian Physical Society (2003), editado por E.F. Redish y Matilde Vicentini.
- RONCHI, V. (1991) *Optics: the science of vision*. Nueva York: Dover Publications.
- SAMEK LODOVICI, P. y GIORDANO, E. (dirs.) (2003). *LABORATORI IN RETE. Una comunità di pratiche per rinnovare il curricolo di scienze*. Milán: Franco Angeli.
- VICENTINI, M. (en prensa). *Thinking Physics for Teaching* Proceedings of Course CLV. *Research on Physics Education* of the Italian Physical Society (2003), editado por E.F. Redish y Matilde Vicentini.
- VIENNOT, L. (2002) *Enseigner la physique*. Bruselas: De Boeck.
- VIENNOT, L. (1996). *Raisonnement en physique*. Bruselas: De Boeck.

[Artículo recibido en agosto de 2004 y aceptado en abril de 2005]