

Implicancias de la enseñanza sobre el saber de los alumnos. El aprendizaje de fenómenos ópticos. Segunda parte.

Bettina M. Bravo¹ Marta A. Pesa² Adriana L. Rocha³

bbravo@fio.unicen.edu.ar, mpesa@herrera.unt.edu.ar, arocha@fio.unicen.edu.ar

¹CONICET - Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA) Av. Del Valle 5737. 7400 Olavarría, Buenos Aires, Argentina

²Area de Física. – Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología – Universidad Nacional de Tucumán (UNT) Av. Independencia 1800 - (4000) Tucumán, Argentina

³Departamento de Profesorado en Física y Química - Facultad de Ingeniería, UNCPBA Av. Del Valle 5737 – (7400) Olavarría, Buenos Aires, Argentina

Resumen

En este trabajo se estudia qué y cómo aprenden los alumnos de educación secundaria, los modelos que la ciencia propone para explicar la formación y visión de las imágenes ópticas, cuando se implementa en el aula una propuesta didáctica diseñada en esta investigación. Se trabaja con curso completo de 10 alumnos de educación secundaria de edades comprendidas entre los 15 y 16 años. Se implementa un diseño cuasi-experimental (sin grupo de control) de tipo pretest – intervención-postest. Se halla que los alumnos habrían experimentado un cambio radical en su modo de conocer que le permitió dejar de concebir y explicar los fenómenos en términos de estados, hechos o datos, realismo ingenuo y razonamiento monoconceptual a explicarlos en términos de procesos, y muchas veces interacciones, activando modos de razonar plurivariados. Se discute el impacto de la enseñanza y se advierte sobre los núcleos conceptuales cuyo aprendizaje presenta más complejidad para los alumnos.

Palabras Clave. Aprendizaje de la Óptica, propuesta de enseñanza, imagen óptica, visión.

The teaching of science and its implications on knowledge of students. For optical phenomena

Abstract

In this paper we study what and how students learn in secondary education, science models proposed to explain the formation and vision of the optical images, when implemented in the classroom, a teaching model designed in this research. It works with 10 high school students 15 to 16 years old. It implements a quasi-experimental design (no control group) type pretest - intervention-posttest. Students has experienced a radical change in their way of knowing. We discuss the impact of teaching and warns of the conceptual nuclei whose learning is more complex for students.

Keywords: Some Proposal of teaching, optical image, vision, learning of the optics

L'enseignement de la science et ses implications sur la connaissance des étudiants. Pour les phénomènes optiques

Résumé

Dans cet article, nous étudions quoi et comment les élèves apprennent dans l'enseignement secondaire, les modèles scientifiques proposées pour expliquer la formation et la vision des images optiques, lorsqu'il est implémenté dans la salle de classe, un modèle d'enseignement conçu dans

cette recherche. Il fonctionne avec 10 lycéens de 15 à 16 ans. Il met en œuvre un modèle quasi-expérimental (pas de groupe témoin) Type de prétest - post-test-intervention. Étudiants a connu un changement radical dans leur manière de savoir. Nous discutons l'impact de l'enseignement et mettons en garde contre le noyau conceptuel qui representel'apprentissage plus complexe pour les étudiants.

Mots clés: Optique d'apprentissage, la proposition de l'enseignement, l'imagerie optique, la vision.

Implicancias do ensino sobre o saber dos alunos. A aprendizagem de fenómenos ópticos. Segunda parte.

Resumo

Neste trabalho estuda-se que e como aprendem os alunos de educação secundária, os modelos que a ciência propõe para explicar a formação e visão das imagens ópticas, quando se implementa no aula uma proposta didáctica desenhada nesta investigação. Trabalha-se com curso completo de 10 alunos de educação secundária de idades compreendidas entre os 15 e 16 anos. Implementa-se um desenho cuasi-experimental (sem grupo de controle) de tipo pretest – intervenção- postest. Discute-se o impacto do ensino e adverte-se sobre os núcleos conceptuais cuja aprendizagem apresenta mais complexidade para os alunos.

Palavras chave: Aprendizagem da Óptica, proposta de ensino, imagem óptica, visão.

1. INTRODUCCIÓN

En un trabajo previo (Bravo, Pesa y Rocha, 2011) nos abocamos a analizar el saber que comparten los alumnos en relación a los fenómenos de formación y visión de una imagen óptica, al ingresar y egresar de la educación secundaria. Dicho trabajo tuvo como finalidad estudiar la potencialidad de la enseñanza tradicional para favorecer el aprendizaje de las ciencias y hallar indicadores concretos sobre los cuales intervenir para intentar potenciar una mejora de la realidad educativa en relación a la temática planteada.

Los resultados obtenidos nos permitieron observar que tanto los alumnos que ingresan a la educación secundaria como los que están próximo a egresar, tienden a explicar los fenómenos de formación y visión de una imagen óptica a partir de ideas intuitivas u otras productos de la escolarización que por lo general resultan incompletas e incorrectas en términos de lo propuesto por la ciencia. Así, y en concordancia con los resultados hallados por otros autores (como por ejemplo Galili & Hazan, 2000; García, Martínez Torregrosa & Carrascosa, 2005; Gil Llinás Badajoz, 2003; Pesa & Cudmani, 1993; Pesa, Cudmani & Bravo, 1993; Osuna García, 2006; Salinas & Sandoval, 2000) y por nuestro equipo de trabajo en instancias previas (Bravo y Pesa, 2005; Bravo, Pesa y Pozo, 2010; Bravo y Rocha, 2008) comprobamos que los alumnos de educación secundaria tienden a asumir que:

- la lente, por su constitución y características, crea una imagen o invierte la imagen emitida por el objeto y que si se cambia el lugar de la pantalla donde se proyecta la imagen ésta seguirá formándose sobre ella pero con distinto tamaño y/o nitidez. Subyacería a estas explicaciones un modelo de “imagen viajera” (Pesa, 1997) concebido como un “ente” que es emitido por el objeto (conteniendo “impresas” sus características), modificado por la lente (que cambia su tamaño u orientación) y proyectado por la pantalla (que permite que se vea y eventualmente se forme). Cuando asumen que la luz emitida por el objeto cumple un rol

primordial en el proceso de formación de la imagen, acuden a ideas intuitivas para explicar la interacción luz – lente (explicando por ejemplo que la lente transforma la luz);

- la imagen real solo puede verse si se proyecta sobre una pantalla y la función del observador se reduce a ser la de mirar hacia ella. Subyacería a esta idea un modelo intuitivo acerca de cómo vemos que conlleva a asumir que para ver basta con tener ojos y mirar (Bravo, 2008);

- el espejo, por sus características, crea la imagen de los objetos que se sitúan frente a él. Consideran a su vez que la imagen virtual se forma independientemente de la presencia de un observador y que éste solo debe mirar hacia el espejo para ver las imágenes que se forman allí.

Subyacería la noción de que los fenómenos de formación y visión de una imagen virtual son independientes.

Estas descripciones e interpretaciones que tienden a hacer los alumnos de educación secundaria de los fenómenos luminosos, están muy alejadas de las interpretaciones científicas. En tal sentido y de forma sintética, desde la ciencia se concibe que para ver directamente un objeto, la luz reflejada por él debe incidir en el sistema visual y, a partir de procesos físicos, químicos y biológicos, estimular selectivamente las células fotosensibles presentes en la retina, lo que desencadena complejas reacciones químicas que conducen a la emisión de estímulos nerviosos. Los pulsos eléctricos llegan al cerebro donde, mediante un procesamiento neurocognitivo de esa información, se genera la representación de lo que vemos (Gregory, 1990). En relación a la formación de las imágenes, desde la ciencia se explica que la luz proveniente de cada punto del objeto se desvía por reflexión o refracción (en superficies espejadas o cuerpos transparentes) de tal forma que convergen hacia o parecen divergir desde un punto llamado punto imagen (Sears et al, 2005). Si la luz que estimula el sistema visual proviene directamente del objeto se vería dicho objeto pero si ingresa al sistema visual luego de ser direccionada por reflexión o refracción podemos ver su imagen.

Como se puede observar, el saber de la ciencia y el saber cotidiano presentan diferencias sustanciales, que trascienden lo conceptual.

2. MARCO TEÓRICO

La perspectiva teórica que adoptamos aquí implica concebir al saber de la ciencia y el saber de los alumnos como dos modos de conocer, dos maneras distintas de “ver” e interpretar el mundo, que presentan características implícitas diferentes. Estas diferencias estarían relacionadas no sólo con el modelo explicativo, la idea, la concepción usada, sino también con los principios conceptuales, ontológicos y epistemológicos que caracterizan a cada manera de conocer. Serían estos principios (que se describen en la tabla 1), los que guían de forma inadvertida la manera en que se interpretan y conciben en cada contexto los distintos

fenómenos, como así también los modos de razonar que se activan al momento de elaborar una explicación (Chi, 2002; Chi, 2008; Chi et al, 2012; Pozo & Gómez Crespo, 1998; Pozo, 2001; Salinas & Sandoval, 1996; Viennot, 2002; Vosniadou, 1994; Vosniadou, 2003; Vosniadou, 2007).

En base a esta perspectiva teórica hemos podido interpretar, describir y caracterizar los modos de conocer que los estudiantes de nivel secundario suelen utilizar con mayor frecuencia para explicar la formación y visión de una imagen óptica (tema central que nos ocupa aquí). A los mismos los hemos agrupado en tres categorías denominadas: Ideas Intuitivas, Modelos Híbridos e Ideas escolarizadas (Bravo, Pesa y Rocha, 2011). En la tabla 2 se presentan, describen (en términos de los principios y modos de razonar asociados) y ejemplifican estos modos de conocer.

	SABER INTUITIVO	SABER DE LA CIENCIA
Principio Ontológico	Estado: Interpretación del mundo en estados de la materia desconectados entre sí.	Sistema: Los fenómenos se interpretan en función de relaciones complejas que forman parte de un sistema.
Principio Conceptual	Hecho o dato: Los fenómenos y hechos se describen en función de propiedades y cambios observables.	Interacción: Las propiedades de los cuerpos y los fenómenos se interpretan como un sistema de relaciones de interacción.
Principio Epistemológico	Realismo ingenuo: La realidad es tal como la vemos, lo que no se percibe no se concibe.	Constructivismo: Se concibe que la ciencia está conformada por modelos alternativos que permiten interpretar la realidad pero no son la realidad misma.
Modos de razonar	Reduccionista: se atiende más a las propiedades que a las funciones de los elementos involucrados en el fenómeno..	No reduccionista.
	No sistémico: no se consideran efectos mutuos entre elementos involucrados.	Sistémico.
	Monoconceptual: se supone que los fenómenos dependen de una sola variable	Plurivariado.

Tabla 1: Principios ontológicas, epistemológicas y conceptuales y modos de razonar característicos del conocimiento intuitivo y del conocimiento científico (adoptada y adaptada de Pozo, 2001 y Salinas & Sandoval, 1996).

Tipo de concepción	Descripción y caracterización de la concepción
Categoría I Ideas Intuitivas	Se reconocen (de forma parcial pero coherente con la de la ciencia) a los elementos implicados en los fenómenos y no se reconocen interacciones entre ellos. La formación y visión de imágenes se explica en función de hechos observables y de la información aportada directamente por los sentidos. Principios subyacentes: Estado - Hecho o dato - Realismo ingenuo. Razonamiento reduccionista, no sistémico ni plurivariado. Ejemplos: se considera que las imágenes se forman por el material con el que está hecha la lente o el espejo y porque los objetos luminosos o iluminados se colocan adecuadamente cerca de ellos. Se concibe que un observador ve (los objetos o las imágenes) porque, con sus ojos, mira hacia donde está el objeto, hacia donde se proyecta la imagen real o hacia el espejo donde se forma la imagen.

<p style="text-align: center;">Categoría II Modelos híbridos</p>	<p>Se reconocen los elementos que la ciencia considera involucrados en los fenómenos ópticos y sólo algunas de las interacciones que suceden entre ellos. Se conjugan ideas intuitivas y otras producto de la escolarización para explicar dichas interacciones. Principio subyacente: Estado - Causalidad lineal simple - Realismo ingenuo. Razonamiento reduccionista, no sistémico, plurivariado. Ejemplos: se considera que las imágenes se forman porque la luz emitida o reflejada difusamente por los objetos incide en el espejo o es transmitida por las lentes. Se concibe que un observador ve porque incide en sus ojos las imágenes emitidas por los objetos o creadas por las lentes o espejos. En los ojos se invierten dichas imágenes y luego llegan al cerebro donde se las interpreta.</p>
<p style="text-align: center;">Categoría III Ideas Escolarizadas</p>	<p>Se reconocen los elementos que la ciencia considera involucrados y algunas de las interacciones que suceden entre ellos, al explicar el fenómeno de formación de una imagen óptica. Dichas interacciones se explican en términos coherentes con los de la ciencia pero de manera incompleta según lo que propone la ciencia. Principio subyacente: Proceso - Causalidad lineal simple a múltiple - Proceso de superación del realismo ingenuo. Razonamiento reduccionista, no sistémico, plurivariado. Ejemplos: se concibe que las imágenes se forman porque la luz emitida o reflejada difusamente por los objetos incide y se refracta o refleja en las lentes o espejos. Se explica que un observador ve (un objeto o una imagen) porque la luz emitida por los objetos, la transmitida por la lente (y reflejada por la pantalla) o la reflejada por los espejos incide en los ojos del observador.</p>

Tabla 2: Caracterización y ejemplificación de los modos de conocer que los alumnos suelen utilizar para explicar la formación y visión de una imagen óptica (extraída de Bravo, Pesa y Rocha, 2011).

La categoría I involucra un modo de conocer netamente cotidiano construido en base al sentido común y la información aportada por los sentidos. En el marco de nuestra investigación estas ideas pueden caracterizarse por los principios ontológico de Estado (en tanto se interpreta por ejemplo que la lente y el espejo, por sus características, crean la imagen); conceptual de Hecho o dato (ya que se explican los fenómenos en función de hechos observables que conllevan a asumir por ejemplo que si se coloca una lente frente al objeto luminoso o si nos paramos frente a un espejo “aparece” una imagen) y epistemológico de realismo ingenuo (ya que se concibe que las cosas son o suceden tal como lo registran nuestros sentidos). En tanto subyacen a estas ideas modos de razonar que resultan reduccionistas (ya que se atiende más a las propiedades que a las funciones de los elementos involucrados en el fenómeno, considerándose por ejemplo que la lente o el espejo por sus características son capaces de crear la imagen), monoconceptuales (ya que se supone que el fenómeno depende de una sola variable, la lente o el espejo) y no sistémicos (dado que no se consideran procesos, interacciones ni efectos mutuos entre elementos involucrados).

La categoría II involucran modelos híbridos donde se conjugan las ideas producto de la escolarización (como que el ojo y el cerebro intervienen activamente en el proceso de ver o que la imagen se forma porque la luz emitida o reflejada difusamente por los objetos incide en la lente y el espejo) con ideas intuitivas (como que los objetos emiten imágenes; las lentes invierten o los espejos reflejan las imágenes de los objetos). Estas ideas pueden caracterizarse con el principio conceptual de causalidad lineal simple (en tanto se relacionan causal y linealmente las variables reconocidas concibiéndose por ejemplo que para que se forme una imagen el objeto debe emitir o reflejar difusamente la luz y esta luz debe incidir en la lente o espejo; que para ver el objeto debe estar iluminado, el observador mirar y la imagen llegar a su ojo), el principio

ontológico de estado (porque las interacciones o procesos reconocidos se explican en términos intuitivos no coherentes con el de la ciencia) y el principio epistemológico de realismo ingenuo. En tanto que los modos de razonar asociado resultan reduccionista, plurivariados (en tanto se reconocen las distintas variables involucradas) y no sistémicos.

La categoría III contempla concepciones que resultan correctas pero incompletas en términos de las ciencias. A estas ideas subyace un principio conceptual de causalidad lineal múltiple (en tanto se relacionan causal y linealmente las variables reconocidas concibiéndose por ejemplo que el objeto emite luz; la lente la transmite y/o el espejo la refleja y que para ver la luz debe incidir en el ojo del observador), un principio ontológico de proceso (en tanto se concibe por ejemplo que se forma una imagen porque la lente transmite la luz y el espejo la refleja y que vemos porque los objetos reflejan la luz y esa luz incide en el ojo) y un proceso de superación del principio epistemológico de realismo ingenuo (en tanto se comienzan a utilizar modelos abstractos en lugar de ideas intuitivas para explicar las interacciones). Los modos de razonar asociados resulta reduccionista, plurivariados (se reconocen las distintas variables involucradas) y no sistémicos.

El paso desde este conocimiento usualmente compartido por los alumnos a uno más coherente con el de la ciencia involucraría cambios que trascienden lo conceptual. En tal sentido la complejidad del aprendizaje se debería al hecho de que aprender los modelos de la ciencia en relación a la formación y visión de imágenes no implicaría la sustitución de ideas o formas de pensar sino un cambio sustancial en los principios implícitos que condicionan la manera en que se entiende, interpreta y comprende el mundo.

Nos preguntamos entonces: ¿qué estrategias podemos promover los profesores en la enseñanza para favorecer en

nuestros estudiantes nuevas formas de percepción y explicación de los fenómenos ópticos, más cercanos a los modos de conocer científicos?

A fin de responder este interrogante, hemos diseñado una propuesta de enseñanza cuyas características conceptuales y metodológicas y la evaluación de su potencialidad para favorecer el aprendizaje del saber de las ciencias, se presenta y discute en este trabajo.

3. La propuesta didáctica

La propuesta de enseñanza diseñada (cuyas características se describen minuciosamente en Bravo, Pesa y Rocha, 2010 y se esquematizan en los cuadros 1, 2 y 3 del anexo I de este trabajo), se estructura a través de un eje transversal relacionado con el entorno tecnológico: el diseño y fabricación de un retroproyector de bajo costo comparativo. Se intenta de esta forma no sólo motivar a los estudiantes a aprender el saber científico, sino también a desarrollar habilidades inherentes al saber hacer, específicamente en relación a la elaboración de explicaciones, al tener que decidir qué elementos utilizar en la fabricación del dispositivo. En tal sentido se orienta a los estudiantes a profundizar los principios básicos del funcionamiento de los elementos ópticos como así también a elegir y justificar qué lente y espejo utilizar para construir el retroproyector, qué características deberá tener la superficie donde se proyecten las diapositivas y dónde ubicar el retroproyector para que todos los alumnos de un curso vean lo que se proyecta.

La propuesta diseñada está orientada a favorecer, de forma gradual y paulatina, la construcción de un saber coherente con el de las ciencias. Para planificar dicho abordaje atendimos a los resultados hallados en trabajos anteriores (Bravo, 2008; Bravo y Rocha, 2008; Bravo, Pesa y Pozo, 2009) que dejaron de manifiesto cuáles son los núcleos conceptuales, relacionados con fenómeno de percepción visual, cuya construcción implica mayor dificultad para los alumnos. En tal sentido hallamos que los modelos que propone la ciencia para explicar la interacción luz - objeto (como la reflexión difusa y selectiva que suceden en el mundo físico y conducen a la visión) no presenta aspectos tan marcadamente contra - intuitivos como los propuestos para explicar la interacción luz - sistema visual (procesos que suceden en el observador y que también resultan indispensables para que se produzca la visión). Esto dado que los alumnos suelen reconocer con relativa facilidad (aunque por lo general no espontáneamente) que la luz debe iluminar el objeto para poder verlo, y que su función es la de *estar* frente a los ojos del observador. Concebir que, según el conocimiento científico, la luz interacciona con los objetos produciéndose los procesos de absorción, reflexión difusa, reflexión especular, refracción, presenta una importante complejidad para los alumnos, dado que deben dejar de considerar las funciones de estos elementos en términos de hechos o datos y/o causalidades lineales simples (el objeto debe estar, la luz iluminar) para interpretarlas en términos de causalidades lineales múltiples y procesos. Pero, la “nueva idea” no se contradice en todo caso con las concepciones iniciales de los alumnos, sino que las ampliarían, al otorgarle funciones más específicas a la luz y los objetos al reconocerse su

interacción. Esto haría que no resulte extremadamente dificultoso, para los alumnos, construir esta concepción.

La interacción luz - sistema visual, en cambio, sí presenta marcados aspectos contra-intuitivos en tanto se *contradice* contundentemente con la concepción inicial que suelen tener los alumnos, la cual implica asumir que para ver “el ojo debe mirar”, “la vista se debe enfocar en un objeto”. En este contexto se asumiría más fácilmente el hecho de que *algo* sale de los ojos para ver, que el hecho de que *algo* debe llegar a ellos para producir su funcionamiento. El sistema visual, en el contexto del saber cotidiano, tiene una definida función: *la de ver* y su rol es pasivo: *mirar*. En tanto desde el conocer científico, se reconocen múltiples procesos físicos, químicos, biológicos como consecuencia de la interacción luz - sistema visual. Por esto aquí no se trataría sólo de la “ampliación” del conocimiento inicial de los estudiantes, sino de un cambio profundo (ontológico, epistemológico y conceptual) de la manera en que éstos interpretan el fenómeno. Por ello la construcción de esta idea implica una gran dificultad para los estudiantes.

Atendiendo a ello organizamos el abordaje del saber de la ciencia a partir de tres bloques que conllevan distintos niveles análisis y profundización y que implican comenzar el estudio con el reconocimiento de las variables involucradas en los fenómenos de formación y visión de imágenes para luego analizar las interacciones que suceden entre la luz y los objetos en el contexto de dichos fenómenos, y finalmente las que suceden entre la luz y el sistema visual.

En el primer bloque se estudia la formación de imágenes reales por refracción lo que implica reconocer los elementos indispensables para que se forme una imagen y estudiar la interacción luz - objeto. Puntualmente se analiza la interacción luz cuerpo transparente (refracción). El modelo explicativo a abordar implica concebir que:

- ✓ cuando la luz interacciona con los distintos objetos puede absorberse, refractarse (transmitirse) y/o reflejarse;
- ✓ durante la refracción la luz cambia de dirección (y de velocidad de propagación) al cambiar el medio en que se propaga;
- ✓ dadas las características de las lentes delgadas (relacionadas con el tipo de material óptico que la constituyen y la forma de sus superficies) la refracción de la luz que ocurre en ellas trae aparejada la formación de imágenes reales o virtuales;
- ✓ las lentes convergentes pueden formar imágenes reales las cuales pueden proyectarse en pantallas (como en el caso de la proyección de imágenes de películas o diapositivas al usar un proyector).

El segundo bloque implica la aplicación de las ideas analizadas en el bloque 1, relacionadas con la interacción luz - materia (reflexión difusa y refracción) para construir un modelo sistémico respecto de la visión de los objetos y de las imágenes reales que se proyectan sobre una pantalla. Para ello, una vez reconocidos los elementos involucrados en el proceso de visión, se aborda la interacción luz emitida por el objeto (luminoso u opaco; lente o pantalla) - sistema visual. El haber analizado previamente la formación de una imagen real por lente delgada favorecería en esta segunda instancia la comprensión del funcionamiento del ojo y la

aceptación de la idea de que la luz debe incidir en él (idea contra intuitiva difícil de aceptar) para que se produzca la imagen retiniana (uno de los procesos fundamentales en la visión). El modelo explicativo desarrollado en este bloque implica asumir que:

- ✓ para ver un objeto la luz emitida por él (en el caso de ser luminoso) o la reflejada difusamente por él, debe ingresar y estimular el sistema visual de un observador para que para verlo. Dicha estimulación implica que:

- o el sistema córnea – cristalino (que se comporta como una lente delgada) produzca la convergencia en la retina, de la luz que incide en el ojo. Esto trae como consecuencia la formación de una imagen real en la zona se hallan las células fotosensibles;

- o al incidir la luz en las células fotosensibles se produzcan complejos procesos químicos y biológicos que darán como resultado el estímulo nervioso que debe llegar al cerebro, donde se producirán complejos procesos psicocognitivos que finalmente conducen a la visión.

- ✓ Para poder ver la imagen real que forma una lente se suele utilizar una pantalla ubicada en el plano donde se forma dicha imagen. La pantalla refleja difusamente la luz que incide en ella. Cuando dicha luz divergente ingresa al sistema visual del observador, su sistema óptico permite la formación de la imagen en la retina, primer paso para la visión de la imagen sobre la pantalla.

Una vez estudiada la visión de los objetos (luminosos e iluminados) y de las imágenes reales que se proyectan en pantallas, en el tercer bloque se aborda el estudio de la formación y visión de las imágenes formadas por espejos. Esto implica analizar en primer término la interacción luz – objetos espejados (reflexión especular) y luego la interacción luz reflejada por el espejos – sistema visual: formación y visión de la imagen. En esta instancia se pretende que los alumnos comiencen a entender cómo y por qué percibimos imágenes virtuales. Decimos “comiencen a” porque la interpretación del fenómeno de percepción de imágenes virtuales será el punto de mayor complejidad para los estudiantes dado que el observador cumple un rol activo no sólo en su percepción sino también en su formación. Y esta idea se contradice rotundamente con el saber intuitivo que concibe que el espejo (por sus características) forma la imagen y el observador (con sus ojos) la mira y la ve. La idea involucrada en este bloque implica explicar que:

- ✓ cuando la luz interacciona con los distintos objetos de superficies pulidas se refleja especularmente (en una dirección privilegiada);

- ✓ durante la reflexión especular la luz cambia de dirección. El cambio en la dirección de propagación trae aparejada la formación de imágenes reales o virtuales;

- ✓ cuando esa luz reflejada por los espejos incide en el ojo, el sistema córnea-cristalino produce su convergencia sobre la retina. Dado que la luz que incidió en el ojo parece provenir de un objeto que está detrás del espejo plano, el sistema visual “crea” una imagen allí (pese que no hay luz detrás del espejo ni proviene luz desde allí atrás).

En el cuarto bloque se integraron los modelos abordados sobre la formación y visión de una imagen, para diseñar y construir un retroproyector.

Para abordar el saber de la ciencia antes descrito, se diseñaron un total de 14 actividades a ser realizadas por los alumnos (cuatro del Bloque 1, cuatro del Bloque 2, cuatro del Bloque 3 y dos de revisión y evaluación final). La dinámica propuesta para la resolución de las mismas implica una primera instancia de trabajo individual de los estudiantes quienes, haciendo uso de sus ideas (iniciales o construidas a lo largo del proceso de aprendizaje escolar) deben resolver las tareas planteadas. El objetivo principal de esta instancia es que los estudiantes expliciten y se hagan conscientes de sus propias concepciones. En una segunda instancia se les solicita que compartan sus ideas con sus pares, trabajando en pequeños grupos. La intención de esta segunda fase es propiciar la socialización del conocimiento entre los estudiantes, brindando la oportunidad de compartir ideas, de respetar opiniones, de aprender a negociar, de admitir los propios errores y de “defender” sus ideas argumentando y justificando su parecer. Una vez culminada esta instancia se propone una fase de socialización entre grupos, donde es el docente el encargado de guiar la discusión, ayudando a los estudiantes (según la instancia de enseñanza en que se hallen) a explicitar sus ideas y clarificarlas dejando en evidencia sus características más relevantes; a comprender el saber de la ciencia; a aprender a aplicarlo; a reflexionar críticamente sobre qué y cómo aprendieron.

Para diseñar, organizar y secuenciar las actividades, atendimos a los resultados de trabajos de investigación previos (Bravo, 2008; Bravo, Pesa y Pozo, 2009; Bravo, Pesa y Pozo, 2010) que nos han permitido observar que favorece el aprendizaje de las ciencias generar instancias especialmente diseñadas que le permitan al alumno:

- reconocer, antes de que comience el proceso de enseñanza, qué sabe y cómo lo sabe;
- conocer el saber de la ciencia y reconocerlo como uno alternativo al suyo, potencialmente útil para elaborar explicaciones en múltiples contextos con consistencia y coherencia argumentativa;
- aplicar su saber (inicial y construido con la enseñanza) ante distintas situaciones problemáticas a fin de que desarrolle la habilidad de gestionar sus ideas;
- aprender a elaborar explicaciones y argumentaciones de forma coherente con la ciencia y haciendo uso de los modelos por ella propuestos;
- reflexionar sobre cómo cambiaron sus ideas y modos de conocer;
- analizar explícitamente qué y cómo aprendieron.

Atendiendo a lo dicho, se diseñaron y organizaron las actividades según la siguiente secuencia didáctica: iniciación – desarrollo – aplicación – síntesis y conclusión (Bravo, 2008). Las actividades de iniciación tienen como objetivo favorecer la explicitación y clarificación del saber y saber hacer de los estudiantes. Este momento es crucial para ayudar a los alumnos a reconocer qué piensan, cómo explican el fenómeno cuyo estudio se comienza a abordar para que luego puedan llegar a analizar y reflexionar acerca de cómo conocen, cuáles son las características primordiales de sus modos de conocer. Las actividades de desarrollo intentan favorecer el reconocimiento e interpretación del saber y saber hacer de las ciencias. Las actividades de aplicación tienen como objetivo favorecer el desarrollo de la habilidad de hacer uso consistente y

coherente del conocimiento construido, en múltiples contextos y situaciones. Finalmente, las actividades de síntesis y conclusión intentan involucrar a los estudiantes en un proceso de explicitación de lo que aprendieron, de cuáles fueron los cambios en sus puntos de vista, en su manera de elaborar explicaciones, de cuáles son las características del saber construido. Así también estas tareas tienen como objetivo que los alumnos reflexionen sobre cómo aprendieron, en un intento de clarificar aquellas estrategias que les resultarán útiles aplicar para seguir aprendiendo.

En el anexo II se presenta esquemáticamente la organización de las actividades diseñadas indicándose los contenidos que se intentan abordar con ellas y la instancia didáctica a la que pertenecen.

Conforme el docente implementó la propuesta diseñada, se recolectaron los datos necesarios para evaluar rigurosamente la potencialidad de la misma para favorecer el aprendizaje del saber de la ciencia. Esto implicó analizar, describir e interpretar cómo y ante qué estrategias didácticas los alumnos cambian su modo de conocer.

Para ello estudiamos las ideas de los estudiantes antes, durante y después de implementada la enseñanza intentando conocer: lo que saben y cómo lo saben (lo que implica conocer las concepciones que presentan respecto de la temática abordada e inferir los principios ontológicos, epistemológicos y conceptuales, que subyacen a sus ideas, los esquemas de razonamiento que activan y las características de las explicaciones que elaboran) y cómo aprenden (lo que implica inferir cómo se produce el paso de una conceptualización intuitiva a una más coherente con la científica). Así también estudiamos como el docente implementó la propuesta didáctica diseñada y con ello qué estrategias puso en práctica con mayor frecuencia.

En este trabajo sólo analizamos comparativamente el modo de conocer compartido por los estudiantes antes (pretest) y después (postest) de la enseñanza a fin de concluir sobre “qué” y “cuánto” aprendieron y con ello sobre la potencialidad de la propuesta para favorecer el aprendizaje. Son objetivos de esta investigación:

- Caracterizar el conocimiento de los alumnos acerca de los procesos de formación y visión de una imagen (real y virtual), antes y después de implementada la propuesta didáctica diseñada en esta investigación. Dicha caracterización implica estudiar el modelo explicativo compartido, lo que requiere analizar el reconocimiento de las variables (luz – objetos iluminados o luminosos – lente o espejo – sistema visual) e interacciones (reflexión difusa, refracción, reflexión especular, visión) a las que los estudiantes atienden al momento de elaborar una explicación.

- Evaluar y describir el aprendizaje experimentado por los alumnos como producto de la intervención didáctica y tomando como indicativo de tal proceso los cambios que pudieran manifestarse respecto al modelo explicativo que utilizan antes y después de la instrucción. En tal sentido se evalúa si dicho modelo adquiere un carácter más sistémico y próximo al conocimiento científico, lo que implica el reconocimiento de las distintas variables como así también

de las interacciones que entre ellos se establecen y que conducen a la formación y visión de una imagen óptica.

4. METODOLOGÍA

4.1. Diseño del estudio

En el presente estudio se implementa un diseño cuasi-experimental (sin grupo de control) de tipo pretest – intervención- postest. Se opta por una metodología cualitativa dado que en esta etapa no se persigue la generalización de resultados, sino la detección de características relevantes de las ideas de los alumnos con los que se trabaja que permitan plantear hipótesis fundamentadas acerca de qué y cómo aprenden ante la propuesta de enseñanza diseñada y qué estrategias favorecen más eficazmente dicho aprendizaje.

4.2. Participantes

Se trabaja con un curso completo de 10 alumnos de educación secundaria de edades comprendidas entre los 15 y 16 años, perteneciente a una Escuela de Educación Técnica de la ciudad de Olavarría (Bs. As. Argentina). Se eligió trabajar en una escuela de educación técnica porque los Diseños Curriculares de la Provincia de Buenos Aires prescriben explícitamente para esta modalidad el abordaje de contenidos inherentes a la Óptica Geométrica en 4º año. El grupo no fue elegido al azar, sino que se trabajó con un docente y un establecimiento educativo que se mostraron interesados y dispuestos a participar.

El docente que implementó la propuesta fue un profesor universitario de Física y Química. Se decidió trabajar con él porque su carrera académica (de grado y posgrado) avalarían una formación científico didáctica coherente con las líneas más actuales. Pero a su vez se trabajó con este docente por el interés y predisposición que mostró desde un primer momento para participar en este proyecto, implementar la propuesta diseñada, permitir la recolección de datos necesario para llevar adelante la investigación (lo que implicó que se registraran en video todas las clases realizadas y que se le realizan entrevistas personales).

Intentando acercarse al profesor a los avances más recientes de la investigación educativa en ciencias y a las características propias de la propuesta didáctica diseñada, se concretaron instancias de trabajo conjunto antes y durante su implementación. En los 3 encuentros concretados previo a la implementación, se discutieron las bases científico – didácticas que subyacen a la propuesta y se guió al docente en la reflexión crítica de sus propias concepciones. En los 10 siguientes, que se concretaron conforme avanzó la implementación de la propuesta, se discutieron y analizaron no sólo las ideas que iban utilizando los alumnos sino también el propio accionar docente, dejando en evidencia aquellos aspectos que habrían ayudado a los estudiantes en la interpretación de los modelos propuestos, como así también los que deberían retomarse, profundizarse y/o rectificarse.

4.3. Tareas y procedimientos

Con el objetivo de arribar a datos concretos que permitan concluir acerca de qué y cuánto aprenden los alumnos se

analizan las actividades elaboradas por ellos en etapas claves de la enseñanza (iniciación y conclusión) que corresponden a las instancias pre y pos intervención (intervención tiene una duración de tres meses, con una carga horaria de tres horas semanales)

Todas estas actividades estuvieron constituidas por cuestionarios de problemas que se diseñaron para detectar el modo de conocer que los estudiantes utilizaron para elaborar una explicación. Dichos cuestionarios fueron validados por expertos (de las UNT y UNCPBA) que controlaron cada una de las preguntas involucradas. En los mismos se incluyeron situaciones problemáticas en los que se les cuestiona a los alumnos acerca de cómo y por qué se forma y ve una imagen (real o virtual).

En el anexo III se presentan algunos ejemplos de las problemáticas utilizadas en los distintos momentos de análisis.

4.4. Criterios de análisis

Con el fin de evaluar las ideas que los estudiantes tienden a utilizar al momento de elaborar una explicación, se llevó a cabo un análisis minucioso de las respuestas que cada uno dio a las actividades propuestas (siguiendo la metodología implementada y validada en trabajos previos como por ejemplo Bravo, 2008; Bravo y Pesa, 2005; Bravo, Pesa y Pozo, 2009; Bravo, Pesa y Pozo, 2010; Bravo, Pesa y Rocha, 2010; Bravo y Rocha, 2008;). Dicho análisis implicó detectar qué variables (luz, sistema visual, objetos iluminados o luminosos, lentes y espejos) e interacciones (luz – objeto: reflexión difusa; luz – lente: refracción; luz – espejo: reflexión especular; luz – sistema visual: formación de la imagen retiniana - visión) los estudiantes involucraron **explícitamente** en cada una de las explicaciones elaboradas.

Una vez analizadas las respuestas dadas por cada alumno se confeccionó un esquema conceptual para representar el modelo explicativo compartido y poder asociarlo a alguna de las categorías preestablecidas inicialmente (propuestas en la tabla 2) o en alguna nueva que pudiese definirse a partir de las explicaciones elaboradas. Así se incluyeron en la categoría I (que involucra ideas intuitivas) respuestas del tipo “la lupa forma imágenes porque tiene aumento”; “el observador ve la imagen proyectada en una pantalla porque mira hacia ella”; “un observador ve un objeto porque lo mira con sus ojos”; “el espejo (por el material con el que está hecho) crea imágenes de todo lo que se coloque frente a él”. Se agruparon en dicha categoría porque el tipo de respuesta citado comparte la concepción, principios conceptuales, ontológicos y epistemológicos, como así también modos de razonamiento subyacentes, con los que inicialmente se caracterizó a las concepciones intuitivas.

En la categoría II se involucraron aquellas respuestas que conjugan ideas cotidianas con otras producto de la escolarización. Así se incluyeron aquí explicaciones del tipo “se forma una imagen porque la luz emitida por los objetos pasa por la lente y se refleja en la pantalla”; “se forma una imagen en el espejo porque la luz refleja en él la forma que tiene adelante”; “se ven los objetos porque su imagen llega a los ojos del observador”.

A la categoría III se asocian aquellas ideas que resultan coherentes con las de la ciencia pero incompletas, como por ejemplo: “se forma la imagen porque la luz emitida por los objetos se desvía y cambia de dirección al pasar por la lente”; “vemos los objetos porque la luz reflejada por ellos llega a los ojos del observador”; “los espejos forman imágenes porque reflejan la luz de los objetos”.

Finalmente en la categoría IV se involucran aquellas ideas coherentes con las de la ciencia escolar que implican considerar, para cada fenómeno analizado, el modelo explicativo y las variables e interacciones que se describen en la tabla 3.

Fenómenos	Modelo explicativo	Variables	Interacciones entre variables
Visión directa de un objeto.	Para que se produzca la visión de un objeto luz proveniente de él debe incidir en el ojo del observador y estimular su sistema visual. El sistema córnea – cristalino se comporta como una lente delgada produciendo la convergencia de la luz incidente lo que da lugar a la formación de una imagen en la retina, donde se hallan las células fotosensibles. Al incidir la luz en ellas se producen procesos químicos y biológicos que dan como resultado el estímulo nervioso que llega al cerebro, donde se producen complejos procesos psicocognitivos que conducen a la visión.	Luz – objeto - sistema visual	Luz – objeto: reflexión difusa. Luz emitida por el objeto – córnea y cristalino: refracción. Luz refractada – células fotosensibles: emisión de pulsos eléctricos.

Formación y visión de una imagen real creada por lente.	Cuando la luz emitida por un objeto incide en una lente se refracta. La refracción produce la convergencia o divergencia de la luz y con ello la formación de una imagen (real o virtual). Para poder ver la imagen real que forma una lente frecuentemente se utiliza una pantalla ubicada en el plano donde se forma dicha imagen. La pantalla refleja difusamente la luz que incide en ella. Cuando dicha luz divergente ingresa al sistema visual del observador, su sistema óptico permite la formación de la imagen en la retina, primer paso para la visión de la imagen sobre la pantalla.	Luz – objeto – lente - pantalla (no indispensable) - sistema visual	Luz – objeto: reflexión difusa Luz emitida por el objeto – lente: refracción (formación de la imagen) Luz refractada por la lente – pantalla: reflexión difusa Luz reflejada por la pantalla o refractada por la lente – córnea y cristalino: refracción (formación de imagen retiniana). Luz refractada – células fotosensibles: emisión de pulsos eléctricos.
Formación y visión de una imagen virtual creada por un espejo plano	Cuando la luz emitida por un objeto incide en un espejo plano se refleja especularmente (cambiando de dirección). Dicha reflexión produce la divergencia de la luz incidente. Cuando la luz reflejada incide en el ojo de un observador su sistema visual crea y ve la imagen del objeto que emitió la luz	Luz- objeto – espejo - sistema visual	Luz – objeto: reflexión difusa Luz emitida por el objeto – espejo: reflexión especular Luz reflejada por el espejo – sistema visual: formación y visión de la imagen

Tabla 3: Variables e interacciones que la ciencia atiende para explicar los fenómenos perceptivos.

A esta idea, coherente con la científica, la caracterizamos en términos de los principios y modos de razonar: Sistema (en tanto los fenómenos se interpretan en función de las complejas relaciones que suceden entre la luz, los objetos, los dispositivos ópticos y el sistema visual del observador); interacción (en tanto se conciben y explican las interacciones que ocurren entre las distintas variables y se las integran en un único y sistémico modelo); proceso superador del realismo ingenuo (en tanto se usan modelos abstractos para explicar los procesos e interacciones reconocidas); razonamiento pluriconceptual, sistémico y no reduccionista (ya que se atiende todas las variables involucradas en los fenómenos, a sus funciones más que a sus propiedades y a las interacciones que entre ellas suceden).

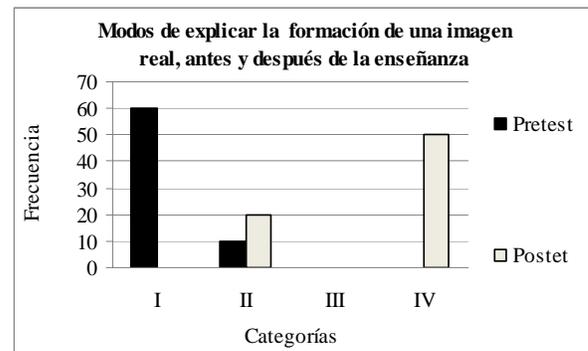
Una vez categorizadas las respuestas dadas por los alumnos y con el fin de analizar en qué medida y de qué manera cambió el modo de conocer de los estudiantes como consecuencia de la implementación de la propuesta diseñada, comparamos las ideas que utilizaron con mayor frecuencia antes y después de la enseñanza. Tomamos como indicativo de un cambio de modo de conocer el cambio de categorías donde se agrupan las respuestas dadas por los estudiantes. El aprendizaje del saber de la ciencia implicaría un cambio de categoría desde las I y II, a las III y IV.

5. RESULTADOS

5.1. La formación y visión de una imagen real

El gráfico 1 muestra la frecuencia con que los alumnos usaron las distintas concepciones, antes y después de la enseñanza, para explicar el fenómeno de formación de una imagen real.

Gráfico 1: Frecuencia con que se usan las distintas categorías, para explicar la formación de una imagen real, antes y después de la enseñanza



Se puede observar que antes de la instrucción la mayoría de los alumnos usaron ideas intuitivas (categoría I) que los lleva a concebir que la lente, por sus características, crea y/o proyecta la imagen de todo objeto que se coloque cerca de ella. En tanto asumen que la pantalla permite la visualización de dicha imagen. Así por ejemplo el alumno A3 responde: *“La imagen se forma debido al lente, que proyecta la imagen de la vela en la pantalla, con la diferencia que la invierte”*.

Con muy baja frecuencia los estudiantes suelen usar la idea subyacente a la categoría II que involucran modelos híbridos donde se conjugan las ideas de la ciencia escolar con ideas intuitiva, explicándose simultáneamente que la imagen se forma por la refracción de la luz y que la lente, por sus características, invierte la imagen que emite el objeto o reconociéndose que la imagen sería una consecuencia de la interacción entre la luz emitida por el objeto y la lente, pero explicando esta interacción en términos no coherentes con los de la ciencia. Así por ejemplo el alumno A8 responde: *“Esa imagen se forma por la reflexión de los rayos de luz que se cruzan con la pantalla que fueron alterados por la presencia del lente”*.

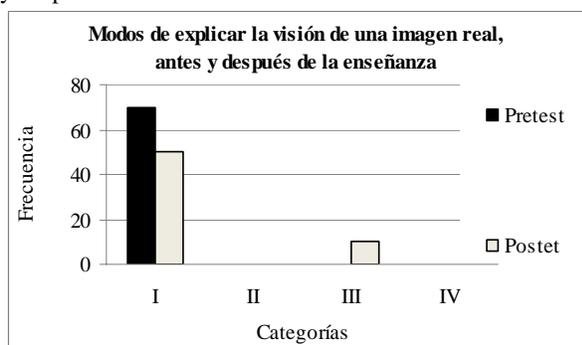
Luego de la enseñanza hallamos que la idea utilizada con mayor frecuencia para explicar la formación de una imagen real fue la de la ciencia escolar (agrupada en la categoría IV). Desde esta concepción se reconocen a los tres elementos implicados en la formación de la imagen

(objeto, lente, luz) y a las interacciones que según la ciencia se establecen entre ellos (luz – objeto: reflexión difusa, luz – lente: refracción, convergencia o divergencia de la luz). Se concibe a su vez que la interacción luz – lente convergente implica la convergencia de la luz en un punto y con ello la formación de una imagen real. Así, por ejemplo el alumno A4 explica: “*los haces (proveniente del sol) convergen en un solo punto por eso la imagen del sol podrá, por así decirse, proyectarse en el suelo*”.

Las otras ideas usadas en esta instancia final, con muy baja frecuencia, fueron las involucradas en la categoría II.

En relación a la visión de una imagen real que se proyecta sobre una pantalla, el gráfico 2 muestra las concepciones utilizadas con mayor frecuencia antes y después de la enseñanza.

Gráfico 2: Frecuencia con que se usan las distintas categorías, para explicar la visión de una imagen real, antes y después de la enseñanza.



Como se puede observar, antes de la enseñanza la idea usada con mayor frecuencia fue la intuitiva que implica concebir que para ver la imagen real basta con que el observador mire con sus ojos hacia la pantalla donde se proyecta. Así por ejemplo el alumno A6 explica que el observador verá la imagen porque “*se coloca cerca de la pantalla donde nada le tapa la visión*”

Y esta tendencia no cambió con la enseñanza. Esto es, las ideas más utilizadas luego de implementada la propuesta diseñada fueron las intuitivas. Los alumnos, entonces, seguirían sin reconocer la importancia del sistema visual y de las interacciones que deben ocurrir entre él y la luz reflejada en la pantalla para que se vea la imagen proyectada allí.

Sin embargo los alumnos sí parecen haber podido construir un modelo coherente con el de la ciencia respecto del proceso de visión directa de un objeto. En relación a este fenómeno, antes de la enseñanza utilizaron con mayor frecuencia las ideas intuitivas asumiendo que para ver un objeto basta con mirarlo. En tanto luego de la instrucción las ideas usadas implican reconocer que para ver, la luz debe iluminar el objeto, el objeto debe reflejarla y luego esa luz debe incidir en los ojos del observador para que se produzca la visión. Dado que no se explicitaron los procesos que ocurren en el ojo, puntualmente la formación de una imagen real sobre la retina, es que se considera la idea usada correcta pero incompleta. Así por ejemplo el alumno A8 explica: “*Primero porque hay rayos de luz que ingresan al ojo del niño. El ojo humano tiene todo un*

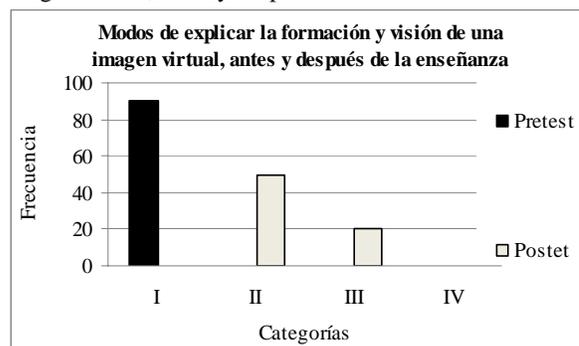
mecanismo que “interpreta” los rayos de luz visibles y los transforma en señales nerviosas que llegan al cerebro”.

Es decir, pudieron explicar, en términos coherentes con los de la ciencia, la visión directa de un objeto pero no la visión de una imagen que se proyecta sobre la pantalla. A su vez, pudieron explicar la formación de una imagen real que se proyecta en una pantalla pero no lograron aplicar esa idea para explicar la formación de una imagen retiniana (por lo que el modelo de visión usado resultó reduccionista respecto del de la ciencia escolar)

5.2. La formación y visión de una imagen virtual

Finalmente, el gráfico 3 muestra la frecuencia con que se utilizaron las distintas concepciones antes y después de la enseñanza, para explicar la formación y visión de una imagen virtual.

Gráfico 3: Frecuencia con que se usan las distintas categorías para explicar la formación y visión de una imagen virtual, antes y después de la enseñanza.



Como se puede observar, los alumnos utilizaron ideas intuitivas para explicar este fenómeno, antes de la enseñanza. Desde esta concepción reconocen al espejo como elemento indispensable y suficiente para que se genere la imagen y le otorgan la función de reproducir, copiar, reflejar a los objetos que se coloquen frente a él. Para la visión de la imagen (proceso que conciben dissociado del de formación) elaboraron distintos tipos respuestas, a las que subyacen ideas intuitivas, construidas en base al sentido común y la experiencia cotidiana. Algunas asumen que el observador sólo debe mirar hacia el espejo donde se formó y “se encuentra” la imagen para poder verla; otras reconoce que además es necesario que la imagen esté iluminada (y con ello que la luz de la fuente incida en el espejo). Así por ejemplo el alumno A4 por ejemplo responde: “*los haces provenientes de la fuente de luz choca contra la pared espejada y se reflejan los objetos que tiene por delante*”.

Luego de la enseñanza hallamos que la idea usada con mayor frecuencia implica asumir que la imagen se forma porque el espejo refleja especularmente la luz que emiten los objetos y dicha imagen se ve porque el observador mira hacia el espejo. Así por ejemplo el alumno A7 responde: “*porque los haces de luz reflejados por el observador llegan al espejo, este los refleja entonces él los puede ver*”; y el alumno A3 explica que: *La imagen se forma al chocar*

los haces de luz refractados (emitidos) por el niño. Llegan al espejo, este los refleja, entonces el niño con sus ojos ve su reflejo". Dado que esta concepción combina ideas intuitivas (en cuanto a la visión de la imagen) con otras coherentes con las de la ciencia (en cuanto al fenómeno de reflexión que ocurre cuando la interacción luz – espejo) la hemos asociado a la categoría II.

La otra idea usada, con una frecuencia menor, implica concebir que la imagen se forma y ve porque la luz emitida por los objetos es reflejada por el espejo hacia los ojos del observador. Dado que no se reconocen los procesos que ocurren en el ojo y que conducen a la formación y visión de la imagen es que se considera esta idea correcta pero incompleta en el contexto de la ciencia. Así por ejemplo el alumno A1 responde: "*se ve en el espejo porque hay luz lo ilumina y los rayos inciden en su cuerpo, los mismo "rebotan" y estos se reflejan en el espejo llegando éstos a su ojo y de ese modo puede verse en el espejo*".

6. CONCLUSIONES

A partir de los resultados hallados podemos concluir que, antes de la aplicación de la propuesta didáctica objeto de investigación, los estudiantes compartían ideas no coherentes con las de la ciencia escolar respecto de los fenómenos de formación y visión de una imagen óptica. Al modo de conocer compartido lo pudimos caracterizar por principios ontológicos, epistemológicos y conceptuales y modos de razonar característicos de un pensamiento cotidiano o intuitivo (no científico).

Una vez implementada la propuesta de enseñanza, pudimos observar que los alumnos lograron construir un conocimiento coherente con el de la ciencia en relación a los fenómenos que ocurren cuando la luz interacciona con los objetos (reflexión difusa, refracción; reflexión especular) y aplicarlo para construir un modelo coherente con lo que ésta propone, en relación a los fenómenos de formación de una imagen y visión directa de un objeto.

En relación al fenómeno de formación de una imagen real, los alumnos pasaron de concebir a la lente como elemento indispensable y suficiente para la formación de la imagen (y con ello dejar de explicar el fenómeno en términos de estados, hechos o datos y realismo ingenuo) para llegar a reconocer que la misma se forma como consecuencia de la interacción que sucede entre la luz emitida o reflejada difusamente por los objetos y la lente (lo que a su vez implica construir y usar un conocimiento complejo caracterizado por principios de sistema e interacción y modos de razonar multivariados, sistémicos y no reduccionistas).

Respecto del modelo de visión construido hay que destacar que pese a que resulta reduccionista (dado que no se explicitan los procesos que ocurren dentro del ojo, puntualmente la formación de la imagen retiniana) la relevancia del aprendizaje radica en que los alumnos llegaron a reconocer la necesidad de que la luz incida y estimule el sistema visual del observador para que se produzca la visión, idea ésta contra intuitiva, cuya aceptación, construcción y aplicación conlleva una gran complejidad para los estudiantes. Este aprendizaje, que

implica haber superado la idea tan arraigada de que para ver basta con tener ojos y mirar hacia el objeto, involucra un cambio ontológico, epistemológico y conceptual del modo de conocer de los alumnos y con ello la construcción de un saber caracterizado por causalidades lineales múltiples y procesos, en un intento de superación del realismo ingenuo.

La dificultad manifestada por los alumnos fue para explicar la visión de las imágenes. Respecto del fenómeno de visión de una imagen real proyectada sobre una pantalla, los estudiantes no lograron aplicar el modelo de visión construido para explicar la visión directa de un objeto y, en su lugar acudieron a ideas intuitivas, explicando que para verla basta con mirar hacia la pantalla.

En relación a la formación y visión de una imagen virtual observamos que los alumnos conciben estos fenómenos en forma disociada. Como consecuencia explican la formación de la imagen haciendo alusión a que el espejo refleja especularmente la luz emitida o reflejada difusamente por los objetos y la visión de la imagen como consecuencia de que el observador mira hacia el espejo o recibe la luz reflejada por él. No obstante, dado el carácter contraintuitivo de los modelos involucrados y el cambio radical que involucra su construcción, creemos que el aprendizaje experimentado como consecuencia de la enseñanza resulta más que relevante. El mismo implicó dejar de concebir al espejo como elemento indispensable y suficiente para la formación de la imagen (y con ello dejar de explicar el fenómeno en términos de estados, hechos o datos y realismo ingenuo) para llegar a reconocer la importancia en este proceso de la luz y de la interacción de ésta con el espejo (y con ello construir y usar un conocimiento complejo caracterizado por principios de causalidad lineal y procesos). Cambio de modo de conocer éste, similar al observado en relación al fenómeno de formación de una imagen real formada por lentes delgadas.

Ahora bien, a la luz de los resultados hallados vale preguntarse: ¿por qué los alumnos tuvieron las dificultades mencionadas? Con antelación hemos comentado e interpretado a la luz de nuestro marco teórico, la complejidad que implica para los alumnos construir el modelo que la ciencia propone para explicar los fenómenos de visión, puntualmente por los aspectos contra intuitivos que sus modelos presentan y el cambio radical que implica su construcción. Cambio que no conlleva la sustitución de ideas sino la modificación en la manera en que se conciben y explican los fenómenos, cambio que trasciende lo conceptual, y alcanza lo ontológico y epistemológico (como justificamos en la introducción de este trabajo). Desde esta perspectiva, entonces, se podría entender por qué los alumnos ante la implementación de la propuesta diseñada tuvieron dificultades para construir algunos de los modelos que se intentó enseñarles.

No obstante vale resaltar que en la mayoría de los fenómenos analizados (y pese a que el estadio final no siempre fue el saber de la ciencia escolar que se quiso enseñar) los alumnos habrían experimentado un cambio radical en su modo de conocer que le permitió dejar de concebir y explicar los fenómenos en términos de estados, hechos o datos, realismo ingenuo, razonamiento

monoconceptual a explicarlos en términos de procesos, y muchas veces interacciones, activando modos de razonar plurivariados. Continuar con la enseñanza de este tema en niveles superiores, partiendo del saber construido hasta el momento, permitirá a los alumnos contar con más tiempo e instancias concretas para seguir construyendo un conocimiento cada vez más complejo, sistémico y coherente con el de la ciencia.

Pero como se dijo, para seguir entendiendo cómo aprendieron, y por qué aprendieron así es indispensable analizar el accionar del docente que implementó la propuesta (intentando dar respuestas a las cuestiones antes planteadas). Actualmente nos hallamos abocados a analizar la interacción docente – propuesta didáctica y docente – alumnos confiando que los resultados obtenidos en este estudio aportarán datos concretos que permitan plantear hipótesis cada vez más fundamentadas sobre cómo aprenden los alumnos y para rediseñar la propuesta didáctica y replantear su implementación a fin de favorecer más eficazmente el aprendizaje.

REFERENCIAS

Bravo, B (2008) *La enseñanza y el aprendizaje de la visión y el color en educación secundaria*. Tesis doctoral no publicada. Universidad Autónoma de Madrid.

Bravo, B. y Pesa, M. (2005) Concepciones de alumnos (14-15 años) de educación general básica sobre la naturaleza y percepción del color. *Investigações em Ensino de Ciências*. 10 (3). Acceso 28/8/12 http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID134/v10_n3_a2005.pdf

Bravo, B; Pesa, M y Pozo, JI (2009). The learning of sciences: a gradual change in the way of learning. The case of vision. *Investigações em Ensino de Ciências*. 14 (2) 299-317. Acceso 28 /08/12 http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID219/v14_n2_a2009.pdf

Bravo, B., Pesa, M. y Pozo, JI (2010). Los modelos de Ciencia para explicar la visión y el color: las complejidades asociadas a su aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 28 (1), 113- 126.

Bravo, B; Pesa, M y Rocha, A (2010) “La visión y los fenómenos ópticos. Una propuesta para su enseñanza”. *Novedades educativas*. 237, 32-39

Bravo, B., Pesa, M. y Rocha, A. (2011) Implicancias de la enseñanza sobre el saber de los alumnos. El aprendizaje de fenómenos ópticos. 1º parte. *Investigações em Ensino de Ciências*. 16 (3). Acceso 28/8/12 http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID273/v16_n3_a2011.pdf

Bravo, B. y Rocha A. (2008) “Los modos de conocer de los alumnos acerca de la visión y el color: síntesis de resultados”. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2) Acceso 23 de enero de 2012, http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen9/ART4_Vol9_N2.pdf

Chi, M.T.H. (2002) Conceptual Change within and across Ontological Categories: Examples from Learning and

Discovery in Science. En: Limón, M. y Mason, L (eds) *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Londres: Kluwer academic publishers.

Chi, M. T. H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of research on conceptual change*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Chi,M; Roscoe,R; Slotta,J; Roy,M; Chase, C (2012) Misconceived Causal Explanations for Emergent Processes. *Cognitive Science* 36 (1), 1–61.

Galili I. & Hazan, A. (2000) Learners’ knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22 (1), 57 - 88.

García O., Martínez Torregrosa, J. & Carrascosa, J (2005) La enseñanza de la luz y la visión con una estructura problematizada: propuesta de secuencia y puesta a prueba de su validez. *Enseñanza de las ciencias*. Número extra.

Gil Llinás Badajoz, J (2003). *Preconcepciones y errores conceptuales en Óptica. Propuesta y validación de un modelo de enseñanza basado en la Teoría de la Elaboración de Reigeluth y Stein*. Memoria Tesis Doctoral. Acceso 10 /5/11, http://www.dialnet.unirioja.es/servlet/fichero_tesis?codigo=293&orden=0.

Gregory R. L.(1990) *Eye and Brain. The psychology of Seeing*. London: Weidenfeld and Necolson PRSA.

Osuna García, L (2006) *Planificación, puesta en práctica y evaluación de la enseñanza problematizada sobre la luz y la visión en la educación secundaria obligatoria*. Memoria Tesis doctoral. Valencia: Universidad de Valencia

Pesa, M. (1997). *Concepciones y preconcepciones referidas a la formación de imágenes*. Tesis doctoral. Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán.

Pesa M. & Cudmani L. (1993) Paralelismo entre los modelos precientíficos e históricos en la ótica. Implicaciones para la educación”. *Caderno catarinense enseñanza física*, 10 (2), 128 – 136

Pesa, M; Cudmani L. & Bravo, S. (1993). Formas de razonamientos asociadas a los sistemas preconceptuales sobre naturaleza y propagación de la luz. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12 (1), 17-31

Pozo J.I (2001). *Humana mente. El mundo, la conciencia y la carne*. Madrid: Ed. Morata. SL.

Pozo J.I. & Gómez Crespo, M. (1998). *Aprender y enseñar ciencias. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Ed. Morata SL.

Salinas J. & Sandoval, J. (1996). Explicación de colores resultantes: modos de razonar subyacentes. *Revista Enseñanza de Física*, 10 (2), 32 – 34.

Salinas J. & Sandoval, J. (2000) Enseñanza Experimental de la Óptica Geométrica: Campos de Visión de Lentes y Espejos *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 22 (2), 259-265.

Sears, F.W.; Zemansky, M.W.; Young, H.; Freedman, R. & Lewins Ford, A. (2005) *Física Universitaria con Física*

Moderna. Volumen 2. Undécima edición. México: Person Educación.

Viennot, L. (2002). *Razonar en física. La contribución del sentido común*. Madrid: A. Machado libros, SA. Vosniadou, S (1994) Capturing and modeling the process of conceptual change. Vosniadou, S (2007) Conceptual Change and Education *Human Development* 50, 47-54

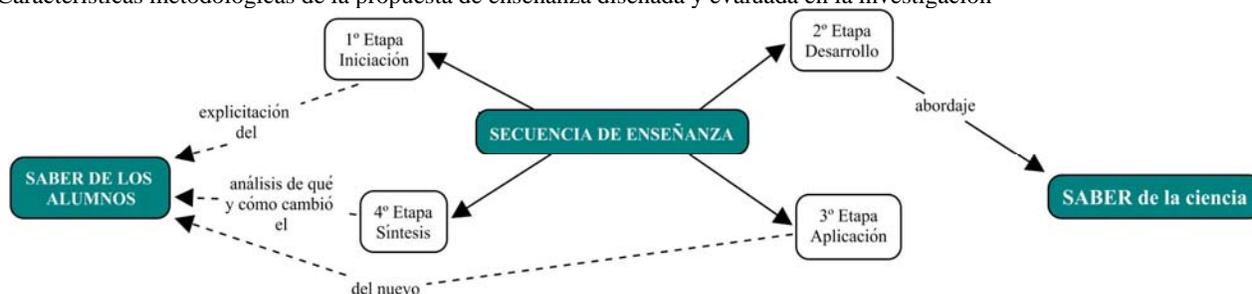
Vosniadou, S (1994) Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and instruction*, 4, 45-69.

Vosniadou, S (2007) Conceptual Change and Education *Human Development* 50, 47-54

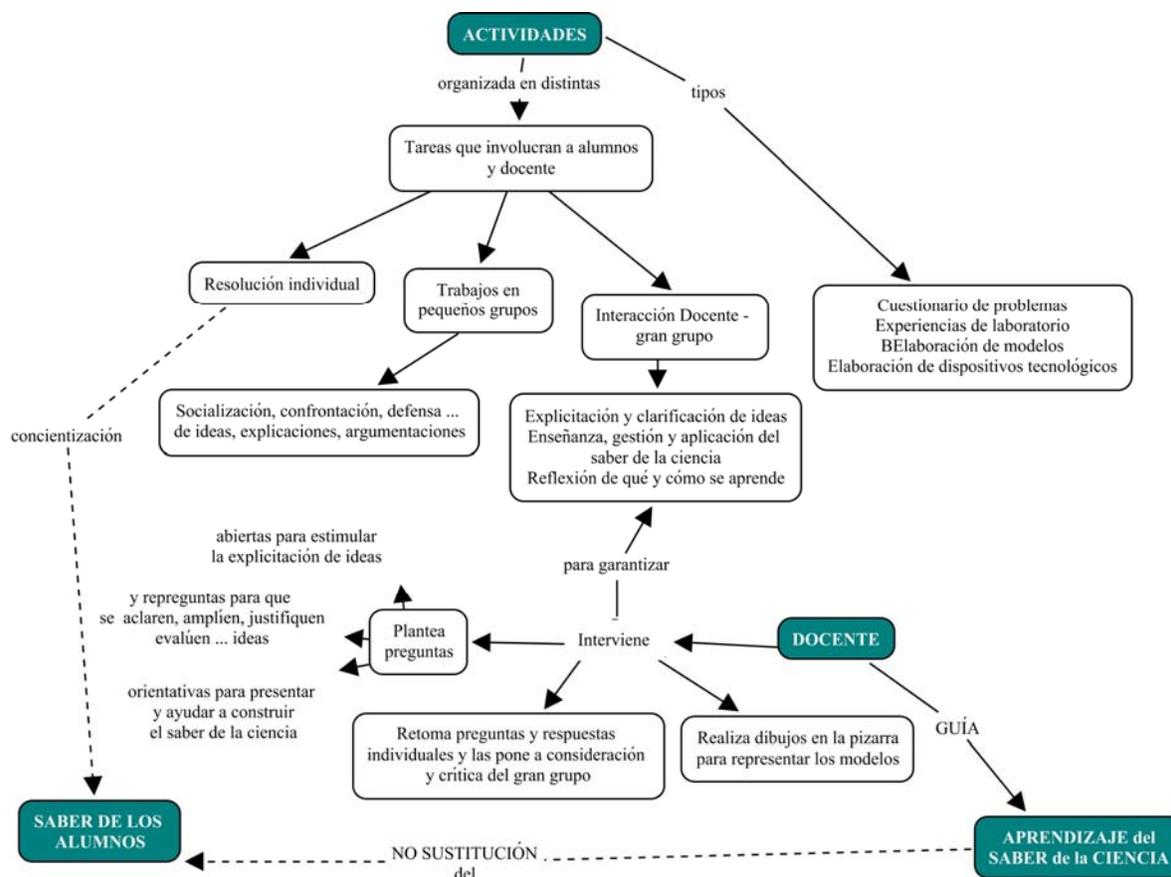
Vosniadou, S. (2003). Exploring the relationships between conceptual change and intentional learning. In G.M. Sinatra & P.R. Pintrich (Eds.), *Intentional conceptual change*. Mahwah: Erlbaum.

ANEXO I

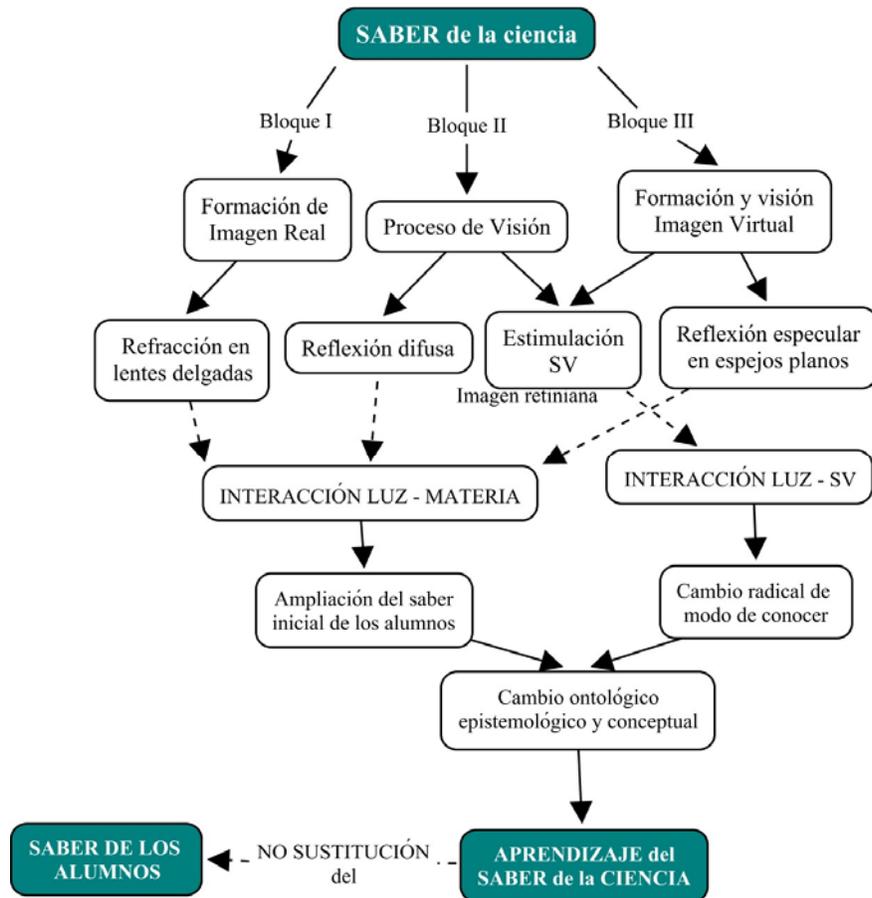
Características metodológicas de la propuesta de enseñanza diseñada y evaluada en la investigación



Cuadro 1. Secuencia didáctica a partir de la cual se organiza la enseñanza de los contenidos involucrados en los distintos bloques conceptuales.



Cuadro 2. Características de las actividades propuestas en las distintas etapas de enseñanza y para el abordaje de los distintos bloques conceptuales.



Cuadro 2. Organización del saber a enseñar e implicancias de su aprendizaje

ANEXO II

Bloques y actividades involucradas en la propuesta de enseñanza diseñada.

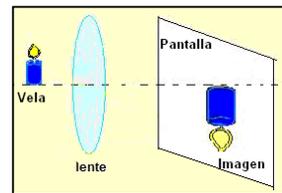
Bloque	Actividad	Contenidos Conceptuales	Instancia didáctica	
I	1	Tus ideas, mis ideas nuestras ideas sobre las imágenes	Formación de imágenes	Iniciación
	2	La interacción luz – cuerpos transparentes	Refracción	Desarrollo
	3	Cuando las lentes forman imágenes	Formación de imágenes por refracción	Desarrollo
	4	Aplicando lo aprendido para explicar la formación de imágenes		Aplicación
II	5	Nuestras ideas sobre la visión	La visión directa de un objeto	Iniciación
	6	La interacción luz – cuerpos opacos	Reflexión difusa	Desarrollo
	7	La interacción luz – sistema visual	Fisiología y funcionamiento del ojo: formación imagen retiniana	Desarrollo
	8	Explicando la visión aplicando lo aprendido	Proceso de visión de un objeto y una imagen real	Aplicación
III	9	Tus ideas, mis ideas nuestras ideas sobre las imágenes virtuales	Formación y visión de imágenes por reflexión	Iniciación
	10	La interacción luz – cuerpos espejados.	Reflexión especular	Desarrollo
	11	La interacción luz – espejos: la formación de imágenes.	Formación y visión de imágenes por reflexión	Desarrollo
	12	Aplicando lo aprendido para explicar la formación de imágenes	Formación y visión de imágenes por reflexión	Aplicación
IV	13	Aplicando lo aprendido para diseñar un retroproyector y explicar su funcionamiento	Todos los anteriores	Aplicación

	14	Evaluando qué y cómo aprendimos	Todos los anteriores	Síntesis y conclusión
--	----	---------------------------------	----------------------	-----------------------

ANEXO III

Ejemplo de problemáticas incluidas en el pretest

I.-Un alumno de Física ha realizado un experimento que consiste en colocar una lente (como la de una lupa) entre una vela y una pantalla. Como resultado de la experiencia observa en la pantalla **la imagen invertida de la vela** (tal como lo muestra el dibujo)



Haciendo uso de tus ideas por favor elabora una respuesta lo más completa posible a las siguientes preguntas

1)

- Explica cómo y por qué crees que se **forma esa imagen**. Representa tu respuesta en el dibujo.
- Explica qué crees que ocurriría con la imagen de la vela si el alumno **aleja la pantalla** (hacia la derecha en el dibujo) y si la **quita la pantalla**. Representa tu respuesta con un dibujo.
- Explica qué crees que ocurriría con la imagen de la vela si el alumno **quita la lente**. Representa tu respuesta con un dibujo.

2)

- Explica cómo y por qué crees que el alumno ve la vela. Representa tu respuesta en el dibujo.
- Explica ahora cómo y por qué crees que el alumno ve la imagen de la vela que se forma en la pantalla. Representa tu respuesta en el dibujo.



II.- El dibujo muestra un niño **viendo** con sus ojos un paquete. Explica cómo y por qué es posible que el niño vea el paquete. Representa tu respuesta con un dibujo

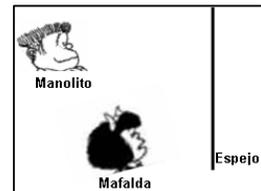
III.-

1) El dibujo muestra a Manolito, el querido amigo de Mafalda, "mirándose" en un espejo plano. Por favor da la respuesta mas completa posible a cada una de las siguientes preguntas y acompáñalas con un diagrama

- Explica cómo y por qué crees que se **forma** esa imagen. Representa tu respuesta en el dibujo.
- Si Manolito cierra los ojos ¿seguirá formándose su imagen? Explica y representa tu respuesta con un dibujo.

2) En un momento dado Mafalda ingresa a la habitación y logra **ver** a Manolito y a su imagen. Analicemos cómo y por qué los ve.

- Explica primero cómo y por qué crees que Mafalda ve a Manolito cuando mira hacia él. Representa tu respuesta en el dibujo.
- Explica ahora cómo y por qué crees que Mafalda ve la imagen de Manolito cuando mira al espejo. Representa tu respuesta en el dibujo.



Ejemplo de problemáticas incluidas en el postest

Atendiendo a todo lo analizado hasta aquí... ¿que respuesta le darías a:

- a tu profesor, si te pide que expliques cómo y por qué vos podés verla cuando está iluminada y se para adelante tuyo?
- a un niño que no entiende por qué cuando juega a las escondidas no lo ven si se esconde detrás de un árbol pero sí lo descubren si se para detrás del vidrio de una ventana?
- a tu hermano menor que te cuestiona cómo y por qué se ve en un espejo plano?
- a tu profesor que te pide que expliques cómo y por qué, al usar una lupa, es posible percibir la imagen del Sol proyectada en el suelo?
- al encargado de proyectar las películas en el cine que te dice que no se formará la imagen de la película si no cuenta con una pantalla?



Bettina Mariel Bravo.

Investigador del CONICET y docente investigador del Área de Física de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Doctor por la Universidad Autónoma de Madrid, programa de doctorado “Educación Científica y Educación Secundaria”; Especialista en Enseñanza de las Ciencias Experimentales (por la facultad de Ingeniería de la UNCPBA) y Profesor en Física y Química.

La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales en educación secundaria es el eje de su proyecto de investigación que lleva adelante, en cuyo marco ha realizado diversas publicaciones, entre las que se pueden citar artículos en revistas, capítulos de libros destinados a docentes y libros de divulgación.