

LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LA CIENCIAS. UN ESTUDIO SOBRE «QUÉ, CUÁNDO Y CUÁNTO» APRENDEN LOS ALUMNOS ACERCA DE LA VISIÓN

TEACHING AND LEARNING OF SCIENCE. A STUDY ON «WHAT, WHEN AND HOW MUCH» STUDENTS LEARN ABOUT VISION

Bettina Bravo
CONICET. Facultad de Ingeniería, UNCPBA
(bbravo@fio.unicen.edu.ar)

Marta Pesa
Dpto. de Física, FCEyT, UNT, Av. Independencia, 1800, Tucumán, Argentina.

Juan Ignacio Pozo
Dpto. de Psicología Básica, UAM, Campus de Cantoblanco, Madrid.

RESUMEN: Se estudia el aprendizaje experimentado por un grupo de alumnos de educación secundaria cuando se implementa en el aula una propuesta especialmente diseñada para propiciar un cambio ontológico, epistemológico y conceptual de su modo de conocer. Los resultados revelan que los estudiantes han experimentado un cambio paulatino del modelo conceptual que usan para explicar la visión y los principios más implícitos que guían la manera en que se conciben dichos fenómenos.

PALABRAS CLAVE: aprendizaje de la visión, modos de conocer, cambio conceptual.

ABSTRACT: What is studied is the experimented learning of a group of students of secondary school education when the specially designed teaching proposal to foster an ontological, epistemic and conceptual change in the way of knowledge is implemented in the classroom. Results show that students have experienced a gradual change in the conceptual model they use to explain sight and the implicit principles that guide the way in which these things happen.

KEY WORDS: learning of sight and sight, ways of knowing, conceptual change.

Fecha de recepción: enero 2011 • Aceptado: junio 2011

Para citar: Bravo, B., Pesa, M. y Pozo, J.I. (2012). La enseñanza y el aprendizaje de la ciencias. un estudio sobre «qué, cuando y cuanto» aprenden los alumnos acerca de la visión. *Enseñanza de las Ciencias*, 30 (3), 109-132 pp

INTRODUCCIÓN

En un trabajo previo publicado en esta misma revista (Bravo, Pesa y Pozo, 2010) presentamos los resultados obtenidos al estudiar las concepciones que comparten, acerca del fenómeno de la visión directa de un objeto, alumnos de educación secundaria y futuros profesores de Ciencias Naturales. Los resultados a los que entonces llegamos pusieron en evidencia que aun después de la educación formal, los alumnos de distintos niveles educativos explican estos fenómenos en términos de ideas, modelos y concepciones intuitivas, basándose en modos de razonar no sistémicos, sino reduccionistas, resultando estos modos de explicar los fenómenos antagónicos con los científicos (resultados que coinciden con los hallados por otros autores, como por ejemplo Anderson y Kärrqvist, 1983; Galili y Hazan, 2000; Osuna *et al.*, 2007; Viennot *et al.*, 2005).

Ante esta situación resulta indispensable hacernos las siguientes preguntas: ¿por qué, pese a la educación formal, los alumnos parecen no aprender las ideas propuestas por las ciencias?, ¿por qué presentan tantas dificultades para construir modelos científicos respecto a los fenómenos de percepción visual?, ¿qué tipo de aprendizaje requiere –demanda– e involucra la construcción de dichos modelos?

La perspectiva teórica que adoptamos aquí implica concebir el conocimiento científico y el conocimiento intuitivo como dos modos de conocer, dos maneras sustancialmente distintas de «ver» e interpretar el mundo, que presentan características implícitas diferentes. Estas diferencias estarían relacionadas no solo con el modelo explicativo, la idea, la concepción usada en uno u otro contexto, sino también con los principios ontológicos y epistemológicos que caracterizan a cada manera de conocer. Serían estos principios (tabla 1) los que guían de forma implícita la manera en que se interpretan y conciben en cada contexto los distintos fenómenos, como así también los modos de razonar que se activan en el momento de elaborar una explicación (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Pozo, 2001; Sandoval y Salinas, 1996; Viennot, 2002).

Tabla 1.
Características ontológicas, epistemológicas y conceptuales del conocimiento intuitivo y del conocimiento científico, a partir de Pozo y Gómez Crespo (1998)

<i>Principios</i>	<i>Saber intuitivo</i>	<i>Saber de las ciencias</i>
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.
Epistemológico	Realismo ingenuo: la realidad es tal como la vemos, lo que no se percibe no se concibe.	Constructivismo: se concibe la ciencia conformada por modelos alternativos que permiten interpretar la realidad pero no son la realidad misma.
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.

En este sentido, desde la ciencia se explica que percibimos los objetos del mundo cuando la luz reflejada por ellos incide en el ojo del observador, donde se estimulan selectivamente las células fotorreceptoras, lo que produce complejas reacciones químicas mediante las cuales la energía lumínica se transforma en eléctrica, que es transportada a través del sistema nervioso hasta el cerebro, donde, a partir de un procesamiento neurocognitivo de esa información, se genera la representación de lo que vemos (Falk, Brill y Stork, 1990; Feymann, Leighton y Sands, 1971; Monserrat, 1998).

A partir de estos modelos se debe asumir que la luz, el sistema visual y el objeto forman parte de un sistema y que la explicación de los fenómenos mencionados en el contexto de la ciencia «solo es posible» si se los reconoce de manera íntegramente relacionada, a partir de las múltiples interacciones y procesos que se establecen entre ellos. Es por ello por lo que caracterizamos esta idea en función de principios conceptuales, ontológicos y epistemológicos de sistema, interacción y constructivismo.

Por su parte, desde el modo intuitivo se asume que para ver basta con abrir los ojos y mirar hacia el objeto (Galili y Hazan, 2000; Viennot, 2002). Dado que solo se reconocen algunas de las variables de las que dependen los fenómenos y que no se reconocen interacciones entre ellas, podemos describir este modo de conocer en términos de principios de estado, hecho o dato y realismo ingenuo.

Los resultados de trabajos exploratorios anteriores (Bravo y Rocha, 2004; Bravo y Rocha, 2006; Bravo y Rocha, 2008; Bravo y Pesa, 2005) nos alertaron de que estos modos de explicar los fenómenos perceptivos (desde el netamente intuitivo hasta uno más coherente con el científico) constituirían los extremos de un continuo que los estudiantes suelen transitar durante su aprendizaje, cuando se implementa una propuesta didáctica diseñada para propiciar un cambio ontológico, epistemológico y conceptual de su modo de conocer y favorecer la construcción de una idea coherente con la de la ciencia escolar. Dicha idea (en concordancia con lo propuesto por Viennot, 2002, y Viennot *et al.*, 2005) implica asumir que, para que se produzca la visión directa de un objeto, son necesarios los ojos, los objetos y la luz, así como que se dé una serie de interacciones entre ellos. La luz debe llegar desde la fuente hasta el cuerpo e interactuar con él, produciéndose los fenómenos de absorción y reflexión difusa. Luego, la luz reflejada ha de incidir en el ojo del observador. Dado que el ojo se comporta esencialmente como un sistema de lentes, produce la convergencia de la luz reflejada desde cada punto del objeto hacia un punto correspondiente de la retina, zona donde se hallan las células fotosensibles. Así, la luz estimula el sistema visual del observador, lo que implica la estimulación de dichas células y con ello la producción de una serie de transformaciones químicas que darán como resultado el estímulo nervioso que llegará al cerebro, con lo cual se producirá la sensación de visión.

El análisis de los modelos explicativos que los alumnos tienden a utilizar con mayor frecuencia durante el proceso de construcción de los modelos de la ciencia escolar descritos nos permitió delimitar cuatro maneras sustancialmente distintas de concebir la visión directa del objeto (Bravo y Pesa, 2005; Bravo y Rocha, 2006). En la tabla 2, hemos descrito estos cuatro *modos de conocer* en función del modelo explicativo implicado, las características ontológicas, epistemológicas y conceptuales subyacentes y los modos de razonamiento asociados a su uso.

Tabla 2.
Categorías de respuestas: descripción y ejemplificación

Categoría I: Ideas intuitivas

Caracterización de la concepción: Se reconocen parcialmente los elementos implicados en la visión y percepción del color (luz, objetos, ojos), pero no se reconocen interacciones entre ellos. Se explica el fenómeno en función de hechos observables y a partir de ideas construidas según información aportada directamente por los sentidos. Principio subyacente: estado-hecho o dato-realismo ingenuo. Razonamiento reduccionista. *Ejemplo:* «Vemos los objetos porque los miramos».

Categoría II: Ideas causales simples

Caracterización de la concepción: Se reconocen relaciones de causalidad lineal entre la luz y los objetos. Se otorga un papel pasivo al sistema visual. Principio subyacente: causalidad lineal simple-proceso-realismo ingenuo. Razonamiento reduccionista y/o mono conceptual. *Ejemplo:* «Vemos porque la luz ilumina el objeto y lo miramos».

Categoría III: Ideas parcialmente adecuadas en el contexto de la ciencia escolar

Caracterización de la concepción: Se reconoce la interacción luz-objeto (y con ello los procesos de absorción y reflexión difusa y selectiva) como *causa* de la percepción, en tanto se da un papel más pasivo al sistema visual (al otorgarle el rol de «mirar»). Principio subyacente: causalidad lineal múltiple-proceso-proceso de superación del realismo ingenuo. Razonamiento pluriconceptual no sistémico. *Ejemplo:* «La luz reflejada por los objetos es la que permite la visualización de estos. Para efectivizar la visión se debe mirar el objeto».

Categoría IV: Ideas de la ciencia escolar

Caracterización de la concepción: Se reconocen las interacciones luz-objeto y luz-sistema visual. Se concibe que la luz reflejada y/o transmitida es el estímulo externo que produce en el sistema receptor múltiples procesos que conducen a la percepción visual. Principio subyacente: Sistema-interacción-superación del realismo ingenuo. Razonamiento sistémico, plurivariado, no reduccionista. *Ejemplo:* «Vemos porque la luz reflejada selectivamente por los objetos incide en el ojo y estimula el sistema visual produciéndose complejos procesos que conducen a la visión del objeto».

El modo de conocer involucrado en la categoría I es de naturaleza intuitiva, y a partir de este solo se reconocen los ojos como elemento indispensable y suficiente para ver. La categoría II involucra una concepción también intuitiva pero más compleja que la anterior, ya que con ella se reconoce explícitamente la importancia de la luz en los procesos perceptivos, concibiéndose de manera reduccionista que para ver el observador debe mirar el objeto y la luz iluminarlo.

En la categoría III subyace una idea producto de la escolarización que resulta incompleta en el contexto de la ciencia escolar. A partir de ella se asume que vemos porque el objeto refleja parte de la luz que incide en él. Pero en esta explicación el sistema visual cumple desde esta perspectiva un rol pasivo, el de mirar lo que ocurre *fuera* del observador, por lo que a esta concepción se la considera incompleta.

La categoría IV contempla la concepción básica que se espera alcanzar en la educación secundaria. Esta idea implica reconocer los tres elementos involucrados en los procesos perceptivos (luz, sistema visual y objetos) y las múltiples y complejas interacciones que se establecen entre ellos (absorción, reflexión difusa y percepción). Si bien la explicación hoy compartida en el seno de la ciencia es más compleja que la propuesta en la categoría IV, se considera (por ser la más coherente con ella y por atender a las variables e interacciones mencionadas) que subyacen principios de sistema e interacción y que su construcción conlleva la superación de un realismo ingenuo, en tanto se utilizan los modelos abstractos propuestos por la ciencia escolar para explicar los fenómenos. A su vez, los modos de razonamiento asociados se caracterizan por ser plurivariados, no reduccionistas y sistémicos.

Aprender acerca de la visión conllevaría pasar de concebir dichos fenómenos en términos de las categorías I y II a concebirlos en términos de las ideas subyacentes a las categorías III y IV, lo que implicaría:

- Superar paulatinamente el realismo ingenuo para llegar a relacionar las ideas intuitivas con las científicas, reconociéndolas como distintas maneras de interpretar el mundo que nos rodea

sobre cuya base se pueden elaborar explicaciones con distintos niveles de complejidad y validez contextual. El paso de este modo de interpretar el mundo a otro más perspectivista implica un cambio complejo, ya que requiere una revisión gradual de los supuestos epistemológicos subyacentes al saber intuitivo y una reinterpretación de la experiencia previa (Vosniadou y Brewer, 1994).

- Superar las restricciones ontológicas impuestas por las ideas intuitivas y apropiarse de los principios implicados en la construcción del conocimiento científico. El principal problema de los procesos de aprendizaje que requieren un cambio de categorías ontológicas (como es el caso de la visión y el color) se debe a la dificultad de reinterpretar los fenómenos en términos de procesos de interacción, ya que va *en contra* de la tendencia intuitiva a interpretarlos dentro de relaciones causales lineales y unidireccionales (Chi, 2002; Villani y Pacca, 1990; Viennot, 2002).
- Superar las restricciones conceptuales impuestas por las ideas construidas intuitivamente y apropiarse paulatinamente de los principios implicados en la construcción del conocimiento científico, lo que supone superar el principio de *hecho o dato*, para tender a aceptar la interacción como forma de interpretar los fenómenos.

La complejidad del aprendizaje se debería entonces al hecho de que aprender ciencias no implicaría la sustitución de ideas o formas de pensar, sino un cambio sustancial en los principios más implícitos que guían el entendimiento, la interpretación y la comprensión del mundo.

Ante esta situación resulta primordial que nos preguntemos, ¿qué metodologías de enseñanza favorecerían un aprendizaje como el descrito?

UNA PROPUESTA DE ENSEÑANZA

Intentando favorecer un aprendizaje como el propuesto y realizar un aporte concreto orientado a resolver la situación problemática inicialmente planteada, elaboramos una propuesta didáctica tendente a potenciar un cambio gradual y paulatino del modo de conocer de los alumnos de educación secundaria con relación al fenómeno de la visión directa de un objeto y la percepción del color (por cuestiones de espacio nos ocupamos aquí solo del estudio de la enseñanza y el aprendizaje del primer proceso perceptivo).

Sintéticamente (una descripción exhaustiva se presenta en Bravo, Pesa y Pozo, 2008), dicha propuesta didáctica se caracteriza por:

- Abordar un modelo coherente con el de la ciencia que implica explicar que: para ver, la luz debe llegar hasta el objeto e interactuar con él, produciéndose los fenómenos de absorción y reflexión. Luego, la luz reflejada debe incidir en el ojo del observador y estimular las células fotosensibles presentes en la retina, lo que conlleva la producción de transformaciones químicas que dan como resultado el estímulo nervioso que llega al cerebro, donde, a partir de complejos procesos psicológicos, se interpreta lo que se ve. Para ayudar a los estudiantes a superar la *brecha* ontológica, epistemológica y conceptual que separa su saber inicial de un saber más cercano al modo de conocer científico, el abordaje del modelo se realizó de forma paulatina. Se inició el estudio de la visión con el análisis de situaciones sencillas y cotidianas que permitieran a los alumnos reconocer explícitamente la importancia de la luz, los objetos y los ojos en el acto de ver. Luego se les propuso el estudio de las interacciones *duales* que se establecen entre ellas (luz-objeto primero y luz-sistema visual en segundo término) para, finalmente, llegar a abordarlas de modo integrado.

- Presentar inicialmente actividades que permitan abordar la enseñanza y el aprendizaje con fenómenos cotidianos y sencillos, factibles de ser explicados a partir de las ideas previas de los alumnos. El objetivo es asegurar una instancia donde los estudiantes puedan hacer explícitas sus concepciones y reconocer sus características y naturaleza, ya que estas constituyen el punto de partida de la construcción de nuevas ideas.
- Incorporar paulatinamente el estudio de fenómenos de complejidad creciente que permitan a los alumnos reconocer la existencia de múltiples variables de las cuales depende el proceso de visión (luz, objeto, sistema visual) y estudiar los procesos de interacción que se producen entre ellas (luz-objeto: absorción, reflexión difusa, transmisión; luz reflejada-sistema visual: activación selectiva de células fotosensibles, percepción).
- Incorporar hacia el final de la instrucción el abordaje de situaciones problemáticas que lleven a atender todas las variables e interacciones de los fenómenos analizados. Esta instancia tuvo como objetivo ayudar a los estudiantes a integrar las distintas variables y procesos estudiados en un único y sistémico modelo: el de la ciencia escolar.
- Proponer un abordaje interrelacionado y recurrente de los contenidos que permita a los estudiantes interpretar el fenómeno de la visión en contextos de situaciones cotidianas, haciendo uso de modelos y modos de hacer y actuar cada vez más coherentes con lo propuesto por las ciencias.
- Realizar un abordaje interdisciplinario que propicie la construcción de un modelo sistémico que involucre y reconozca la importancia y el rol de los tres sistemas involucrados (sistema visual, luz y objeto). Se intenta de este modo superar el estudio disciplinar y disociado mediante el que suelen abordarse tradicionalmente los fenómenos de percepción visual en clases de ciencias. En este sentido, lo más habitual es que se realice un abordaje disciplinar desde un enfoque netamente biológico o netamente físico. Desde la primera perspectiva, se suele atender principalmente (y muchas veces, exclusivamente) al funcionamiento y la fisiología del sistema visual para explicar la visión de un objeto y la percepción de un color (visión cromática), sin atenderse (o atendándose solo superficial y descriptivamente) a los procesos que ocurren fuera del observador relacionados con la interacción luz-materia (absorción, transmisión y reflexión), sin los cuales no sería posible que se produjeran los fenómenos perceptivos. Por otra parte, desde una perspectiva netamente física, se suele atender principalmente a la naturaleza espectral de la luz y a los procesos de absorción, reflexión y transmisión selectiva que los objetos producen cuando incide sobre ellos la radiación, pero no se aborda (y si se hace es a partir de una sintética descripción) la importancia del sistema visual en los procesos perceptivos, sin cuya función tampoco estos se llevarían a cabo (Galili y Hazan, 2000; Pesa y Cudmani, 1993; Sandoval y Salinas, 1996; Viennot y otros, 2005). La situación problemática presentada al comienzo de este trabajo mostraría que este tipo de abordaje realizado habitualmente en clases de ciencia no propiciaría un cambio en el modo de conocer de los estudiantes, desde uno más intuitivo hacia otro coherente con el de la ciencia, que se caracterice por su naturaleza sistémica al reconocer de forma integrada las tres variables que intervienen en los procesos perceptivos (luz, objeto y sistema visual) y las interacciones múltiples y complejas que se establecen entre ellas.

Simultáneamente a la profundización de contenidos, la propuesta prestó especial atención a los espacios de reflexión metacognitiva, propiciando que los estudiantes:

- Reconozcan el conocimiento científico como un modo de conocer alternativo al suyo, potencialmente útil para explicar diversas situaciones, y aprendan a aplicarlo con consistencia y coherencia argumentativa. La importancia de esta instancia radica en que se asume que el aprendizaje no implica sustitución de concepciones y, por tanto, que coexistirán en la mente del estudiante sus ideas iniciales y las construidas mediante la instrucción, con una adecuada discriminación de sus contextos de validez. La propuesta de enseñanza debe entonces ayudar al

alumno a aprender a gestionar conscientemente y con criterio el modo de conocer que es necesario utilizar en función del contexto y la demanda del problema al que se enfrente.

- Sean cocientes y reflexionen críticamente sobre el proceso de aprendizaje experimentado a lo largo de toda la enseñanza y lo que implica aprender ciencias. Resulta importante que con la instrucción se propicie que el alumno desarrolle una actitud crítica sobre el propio proceso de aprendizaje, reconociendo qué aprendió y cómo, a fin de clarificar aquellas herramientas que podrá continuar usando para seguir aprendiendo.

La propuesta diseñada involucra diversas actividades (que se presentan en el anexo) que comprometen a los estudiantes en el diseño y la realización de pequeñas experiencias, la resolución de problemas de lápiz y papel, las búsquedas de bibliografía, la construcción de modelos, etc. Respecto al docente, las actividades propuestas implican su exposición ante el gran grupo para ayudar a los alumnos a clarificar su modo de conocer, presentar el modo de conocer de la ciencia, enseñar procedimientos relacionados con la elaboración de explicaciones y la aplicación de los modelos de la ciencia y guiar a los estudiantes en el análisis crítico y reflexivo respecto del aprendizaje experimentado, entre otros objetivos.

Las actividades fueron organizadas en cinco etapas didácticas cuyos objetivos se presentan y describen en la tabla 3.

Tabla 3.
Etapas de la secuencia de enseñanza y objetivos didácticos

<i>Etapas</i>	<i>Objetivos didácticos</i>
Iniciación	Motivar al alumno para que explicita sus propias ideas. Interesar al alumno en el contenido que hay que abordar a partir de la presentación de distintos problemas. Clarificar e intercambiar ideas previas, señalando sus límites de validez y limitaciones.
Información	Explicitar las variables, relaciones e interacciones entre conceptos al presentar el modelo de visión relacionada e integrada al modelo propuesto desde la ciencia escolar. Analizar la potencialidad de las ideas de la ciencia para resolver y dar respuesta a los problemas planteados. Estimular en los estudiantes la participación activa y el planteamiento permanente de sus dificultades y dudas. Estimular la elaboración de explicaciones para resolver diversas situaciones haciendo uso de las ideas construidas. Desarrollar explícitamente procedimientos característicos del quehacer científico. Hacer alusión explícita a la naturaleza y construcción del conocimiento científico y al perspectivismo de ideas.
Aplicación	Orientar a los alumnos a utilizar las nuevas ideas en diferentes situaciones y contextos. Animar a los alumnos a evaluar sus ideas, desarrollarlas y aplicarlas para explicar los fenómenos en estudio.
Evaluación	Proponer distintas situaciones problemáticas (conocidas y «novedosas») a fin de que los alumnos elaboren explicaciones en función de las ideas construidas. Presentar a los estudiantes respuestas dadas por ellos antes de la instrucción a fin de que evalúen (al comparar aquellas respuestas con las que son capaces de elaborar en la instancia final) lo que aprendieron. Proponer a los alumnos que emitan una opinión crítica sobre la importancia de haber aprendido y sobre las estrategias de enseñanza que les ayudaron con mayor eficacia a aprender.
Síntesis y conclusión	Sintetizar y evaluar el cambio en las ideas. Evaluar la potencialidad de las nuevas ideas. Generar espacios de toma de conciencia y reflexión crítica respecto al proceso de aprendizaje experimentado a lo largo de toda la instrucción y a lo que implica entonces aprender ciencias. Plantear nuevas preguntas abiertas que motiven a los estudiantes a seguir aprendiendo.

La dinámica propuesta para la resolución de las actividades planteadas 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, en la que el docente es 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 y a reflexionar críticamente sobre qué y cómo aprendieron.

La implementación de la propuesta diseñada involucró a un docente cuya función principal fue la de guiar el proceso de aprendizaje, siendo el responsable de presentar las ideas de la ciencia escolar, enseñar explícitamente procedimientos característicos del quehacer científico y despertar el interés y la curiosidad de los alumnos, ayudándolos a hacer explícitas sus ideas, propiciando que sean conscientes de lo que piensan, animándolos a probarlas, desarrollarlas y aplicarlas para explicar experiencias cotidianas. También, atender las ideas manifestadas por ellos en las distintas etapas de la instrucción para ayudarlos a construir otras nuevas, aplicarlas en distintos contextos y ser conscientes del aprendizaje experimentado.

La propuesta de enseñanza diseñada fue implementada con un grupo de alumnos de educación secundaria, de edades comprendidas entre los 13 y 14 años. A fin de evaluar su potencialidad para favorecer el aprendizaje deseado, estudiamos el modo de conocer compartido por los estudiantes antes, durante y después de su implementación.

El análisis de cómo aprendieron, que implicó estudiar cómo fueron cambiando las ideas de los alumnos conforme avanzó la instrucción, se ha realizado en otras publicaciones (Bravo, Pesa y Pozo, 2009; Bravo, Pesa y Pozo, 2010). Nos detenemos a analizar aquí *qué* y *cuánto* aprendieron los estudiantes como producto de la propuesta didáctica especialmente diseñada. Para ello estudiamos el saber de los alumnos antes de la enseñanza (instancia pretest), inmediatamente después de que haya concluido la implementación de la propuesta (instancia postest) y una vez que haya transcurrido un tiempo desde que culminó dicha implementación (instancia demora).

Los datos obtenidos en la instancia pretest permiten conocer, interpretar y describir exhaustivamente el modo de conocer compartido por los alumnos a priori del proceso de enseñanza formal. Esto es de gran importancia no solo para el diseño de la propuesta que se ha de implementar, sino también para poder compararlo con el saber que llegan a compartir los estudiantes después de la enseñanza formal. Analizar el cambio que pueda producirse entre uno y otro momento permitirá evaluar y caracterizar el aprendizaje experimentado por los alumnos y la potencialidad de la propuesta de enseñanza para propiciar un aprendizaje significativo. Con los datos aportados por la instancia postest se puede detectar, describir e interpretar el modo de conocer que presentan los alumnos inmediatamente después de culminar la instrucción. El test demora tiene como objetivo estudiar el conocimiento de los estudiantes tres meses después de la instrucción, como un indicativo más que ayude a conocer la significatividad del aprendizaje experimentado.

Analizaremos a continuación los primeros resultados que muestran la efectividad de la metodología de enseñanza asociada a la propuesta.

Objetivos de la investigación

Caracterizar el conocimiento de los alumnos acerca del proceso de visión antes y después de implementar 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-objeto-sistema visual) e interacciones (absorción, reflexión difusa, transmisión, percepción) a las que los estudiantes atienden en el 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 este sentido, se evalúa si dicho modelo adquiere un carácter más sistémico y próximo al conocimiento científico, lo que implica el reconocimiento de las tres variables (luz, objeto y sistema visual) y de las interacciones que entre ellas se establecen y que conducen a la visión de un objeto (luz-objeto: absorción, reflexión y/o transmisión; luz reflejada-sistema visual: percepción).

METODOLOGÍA

Participantes

Se trabaja con un grupo de 32 alumnos de educación secundaria (edades comprendidas entre los 13 y 14 años) perteneciente a un establecimiento educativo de la ciudad de Olavarría (Buenos Aires, Argentina).

El docente responsable del curso y de implementar la propuesta de enseñanza especialmente diseñada fue un profesor de Física y Química (graduado universitario), que desde un primer momento se mostró interesado en participar en esta experiencia. Este hecho y el interés del colegio en participar en este tipo de trabajos fueron las principales razones por las que se decide a trabajar con el grupo de alumnos del docente mencionado.

La formación de grado del profesor (y trabajos anteriormente realizados con él en contextos fuera de los de este trabajo) permite presuponer una sólida formación científica y actualizada formación didáctica, en tanto que conoce y comparte los principios teóricos subyacentes a los más actuales modelos de enseñanza y aprendizaje. No obstante, y debido a los principios innovadores de la propuesta diseñada, se concretaron instancias de trabajo conjunto antes y durante su implementación. En los encuentros previos al proceso de enseñanza 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 encuentros periódicos se discutieron y analizaron no solo las ideas que iban utilizando los alumnos, sino también el propio quehacer docente, dejando en evidencia aquellos aspectos que habrían ayudado positivamente a los estudiantes en la interpretación de los modelos propuestos, así como los que deberían retomarse, profundizarse y/o rectificarse.

Actuó como apoyo al docente responsable del curso el docente investigador, quien no solo orientó en la planificación y construcción de las actividades, sino que también participó como observador de la dinámica de las clases.

Tareas y procedimientos

Para obtener los datos que permitieran cumplir con los objetivos propuestos en este estudio, se utilizaron cuestionarios de problemas que permiten detectar el tipo de idea que los estudiantes utilizan para elaborar una explicación en las distintas instancias de análisis. Dichos cuestionarios se elaboraron

atendiendo a los resultados obtenidos en un trabajo de investigación exploratoria (Bravo y Rocha, 2004; Bravo, y Rocha, 2006), que permitieron conocer cuál era la manera más adecuada de redactar la consigna y el problema, qué tipo de fenómenos resultaba conveniente incluir y qué extensión máxima podían tener las problemáticas, a fin de obtener una explicación lo más completa posible (que permita inferir las concepciones subyacentes con la mayor confianza, rigurosidad y fundamento posible).

A su vez, los mencionados resultados de investigaciones previas dejaron en evidencia la complejidad que implica para los alumnos enfrentarse a tareas que requieren que sean ellos quienes *elaboren en forma escrita* sus respuestas. En tal sentido, un alto número de consignas pueden ocasionar que el cansancio y la rápida desconcentración que suelen caracterizar a los jóvenes los desmotiven y los lleven a no contestar algunas de las cuestiones planteadas y/o a elaborar explicaciones extremadamente sintéticas que, como decíamos, dificultan la inferencia fundamentada de sus concepciones. Por esta razón, los cuestionarios utilizados en cada etapa contaron con cuatro problemas relativos al proceso de visión. Se incluyeron situaciones problemáticas en las que se les preguntaba a los alumnos directamente acerca de por qué vemos como vemos. Sumadas a ellas se incorporaron otras situaciones en las que los estudiantes debían utilizar sus ideas respecto a este fenómeno en distintos contextos. De ese modo, se presentaban instancias en las que los alumnos tenían que explicitar la importancia y el rol de los distintos elementos que intervienen en el proceso de percepción visual (luz, objeto, sistema visual), como así también justificar y/o predecir qué ocurriría si alguna de ellas cambiara, en relación con las condiciones normales de observación. En todos los casos la consigna planteada solicitaba a los alumnos que «elaboren las explicaciones más completas posibles, haciendo uso de sus ideas respecto a la visión». En el anexo 2 se presenta el cuestionario utilizado en los distintos momentos de análisis (antes y después de la instrucción).

Diseño del estudio

El presente es un estudio intragrupo, de tipo pretest-intervención-postest-postest demora. Se basa en un diseño factorial que permite analizar la influencia de variables independientes sobre la dependiente. Como variable dependiente se establece la probabilidad con que se usan las distintas concepciones subyacentes a cada categoría de respuesta previamente definidas en la tabla 2. Como variables independientes de este estudio se definen las categorías de respuestas (categoría I: ideas netamente intuitivas; categoría II: ideas causales simples; categoría III: ideas parcialmente adecuadas en el contexto de las ciencias; categoría IV: ideas de la ciencia escolar) y el momento de la instrucción (antes de la instrucción: pretest; inmediatamente después: postest; pasado un periodo de tiempo: postest demora).

Para poder evaluar las ideas que los estudiantes tienden a utilizar a la hora de elaborar una explicación, se lleva a cabo un análisis minucioso de las respuestas que cada uno dio a las actividades propuestas en el cuestionario de problemas. Ello implicó la detección de qué variables (luz, sistema visual, objetos) e interacciones (reflexión, absorción y/o transmisión; estimulación del sistema visual: percepción) se involucraban explícitamente en cada una de las explicaciones elaboradas por cada alumno. Este análisis se realiza con el objetivo de categorizar las respuestas que dieron los estudiantes, para luego calcular la probabilidad media con que usan las concepciones subyacentes a las distintas categorías de respuestas previamente establecidas (o alguna nueva que pueda surgir a partir de las respuestas dadas por los alumnos), y finalmente hallar la probabilidad de que el grupo use los distintos modelos explicativos.

Para caracterizar las ideas del grupo de alumnos en los diferentes momentos de análisis, así como el aprendizaje experimentado, se realiza un tratamiento de datos análogo al propuesto por Gómez Crespo, Pozo y Sanz (1995) a partir de Nesher y Sukenik (1991) (véase también Gómez Crespo y Pozo, 2004; Pozo, Gómez Crespo y Sanz, 1999). En este sentido, se realizan análisis de varianza (ANOVA)

sobre los resultados obtenidos respecto a la probabilidad media con la que los alumnos usan las diferentes concepciones (subyacentes a las cuatro categorías de respuestas previamente definidas) en cada momento (pre, post y demora). Dichos valores son transformados a partir de la función arcsen para la raíz cuadrada de las proporciones (que permite un tratamiento estadístico más correcto y riguroso de variables categoriales).

El ANOVA realizado sobre un diseño factorial 3 x 4 (dos tareas, tres momentos de análisis y cuatro categorías de respuestas) permite estudiar:

- La influencia de la variable categoría en cada momento, a fin de detectar qué concepción/es es/son utilizada/s por los estudiantes con mayor probabilidad.
- La interacción momento x categorías, para conocer la manera como influye el proceso de enseñanza en el modo de conocer de los estudiantes. En este sentido, se estudia si este propicia el aumento significativo de la probabilidad con la que se usan las concepciones coherentes con las de la ciencia y favorece la disminución del uso de ideas intuitivas.

En todos los casos se utiliza como test post hoc el test comparativo de Duncan, para conocer en qué consisten las diferencias enunciadas por el ANOVA realizado.

RESULTADOS

Para poder estudiar cómo influye la propuesta de enseñanza sobre el conocimiento de los alumnos, fue necesario conocer cómo estos explican el proceso de visión antes de la enseñanza formal. El gráfico 1 presenta la probabilidad con la que los estudiantes usaron las distintas concepciones en la instancia pretest.

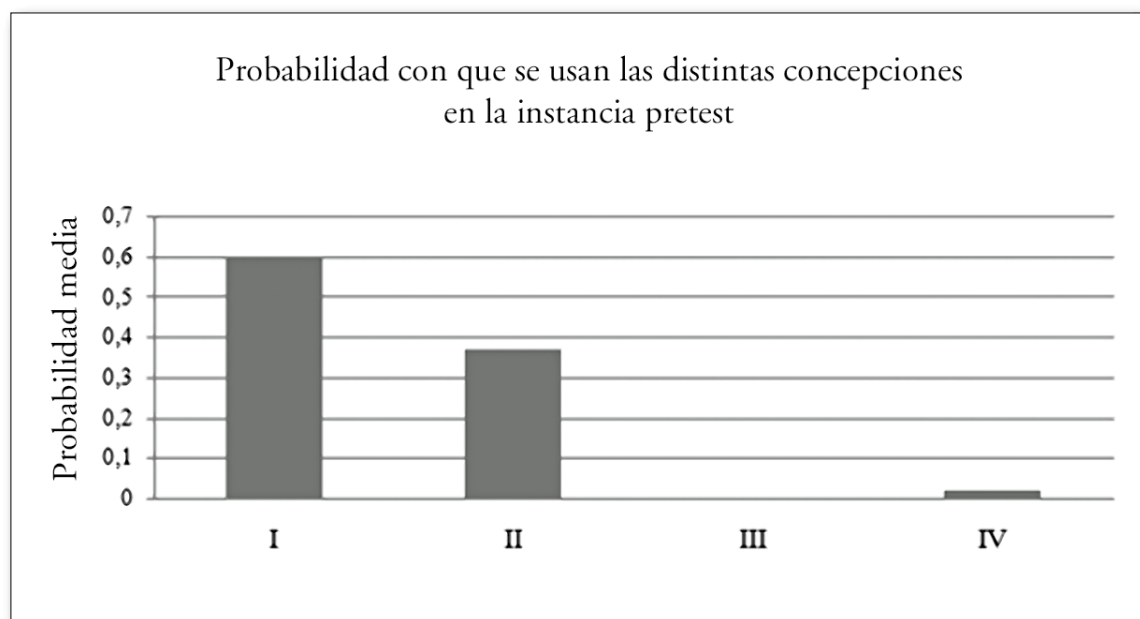


Gráfico 1. Probabilidad con que los alumnos usaron las distintas concepciones para explicar la visión, en la instancia pretest y al elaborar una explicación.

Al estudiar la influencia de la variable categoría sobre la manera como los alumnos explican el proceso de visión, se halló que esta resulta significativa ($F(132,3) = 45,82; p < 0,0001$). El test post hoc

revela que los estudiantes utilizaron, con una probabilidad significativamente mayor que la del resto de las concepciones ($p < 0,01$), las ideas subyacentes a la categoría I. Es decir, que tendieron a activar razonamientos reduccionistas y no sistémicos. Así, explicaron por ejemplo que «vemos porque el punto negro que tenemos en el centro de nuestro ojo nos permite ver, así que cuando el ojo está cerrado no vemos porque el punto negro está cubierto» (alumno A1).

La situación descrita cambia sustancialmente con la implementación de la propuesta de enseñanza y con el paso del tiempo. En este sentido, el gráfico 2 muestra cómo fue cambiando la probabilidad con la que los alumnos utilizaron las distintas concepciones entre las instancias pretest, postest y demora.

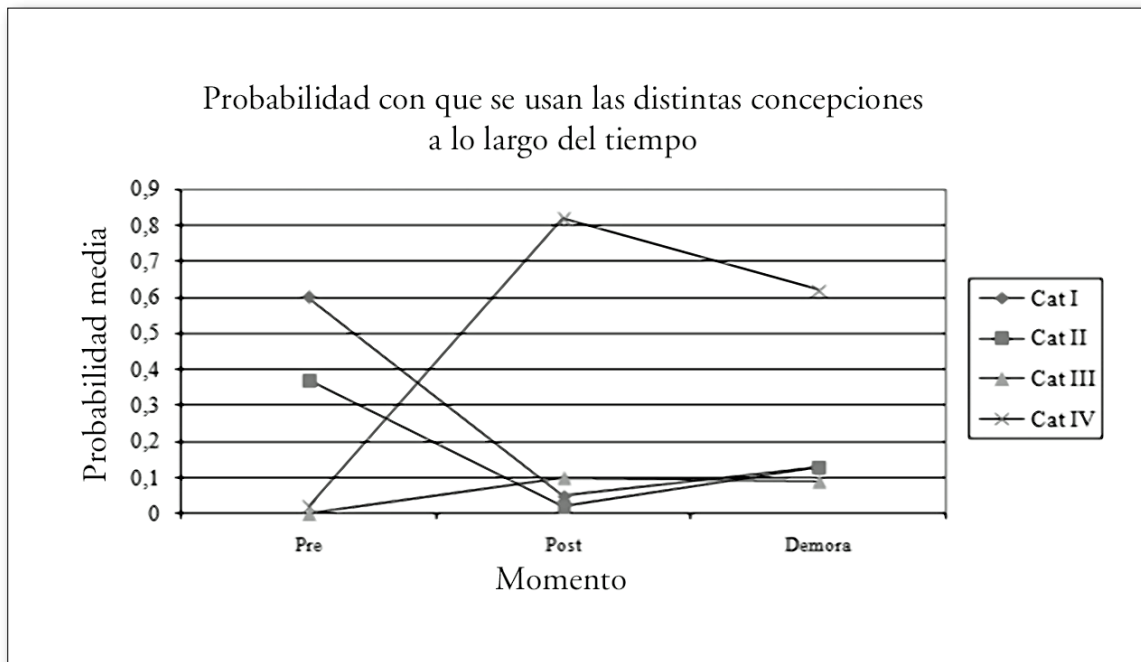


Gráfico 2. Cambios observados en la probabilidad con que se utilizaron las distintas concepciones a lo largo del tiempo.

El análisis estadístico de estos datos indicó que la interacción momento x categoría resulta significativa ($F(379;6) = 69,98$; $p < 0,001$), lo que implica que la propuesta de enseñanza y el paso del tiempo propiciaron cambios significativos en la probabilidad con la que los estudiantes utilizaron las distintas concepciones al explicar el fenómeno de la visión.

Los resultados del test de Duncan revelaron que entre la instancia pre y postest disminuyó significativamente ($p < 0,01$) la probabilidad con la que los estudiantes utilizaron las ideas netamente intuitivas (subyacentes a la categoría I en el caso del test y a la I y II en el caso del cuestionario). A su vez, aumentó significativamente ($p < 0,01$) la probabilidad con la que utilizaron la explicación de la ciencia escolar.

Al hacer un análisis intragrupo para la instancia postest se obtuvo que la variable categoría influyó significativamente sobre el modo como los estudiantes interpretaron el proceso de visión ($F(123,3) = 152,17$; $p < 0,0001$). El hecho más relevante aquí (tal como lo indica el test post hoc) fue que, luego de implementada la propuesta didáctica, los alumnos utilizaron con una probabilidad significativamente mayor que al resto ($p < 0,01$) la idea de la ciencia escolar (categoría IV). Las demás concepciones (subyacentes a las categorías I, II y III) se utilizaron en menor proporción y sin diferencias significativas entre ellas. Así, en esta instancia tendieron a activar modos de razonar sistémicos y no reduccionistas, explicando que «al ser la espalda un cuerpo opaco no veo los objetos que están detrás de mí porque

cuando la luz los ilumina reflejan la luz difusamente pero no puede llegar a mis ojos, ya que mi espalda no deja traspasar la luz; entonces no llega luz a mis ojos y así no se producen los procesos necesarios para ver, entonces no veo los objetos que están atrás mío» (alumno A10).

Al estudiar comparativamente los datos obtenidos en la instancia posttest y demora, se observó que los cambios experimentados fueron de los «menos» deseados. Se halló que disminuyó significativamente ($p < 0,01$) la probabilidad de que los alumnos utilicen el saber propuesto por la ciencia escolar (subyacente a la categoría IV) y aumentó, también significativamente, la probabilidad a que «utilicen» los modelos involucrados en la categoría II ($p < 0,05$).

Se pudo observar a su vez (aspecto positivo este) que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre la instancia posttest y la demora en lo que respecta al uso de las ideas intuitivas, lo que implicaría que una vez implementado el proceso de enseñanza, los estudiantes no vuelven a recurrir a modelos intuitivos para explicar el proceso de visión (dado que en ambas instancias finales fue baja la probabilidad con que se usan).

Vale destacar que, a pesar de los cambios mencionados, en la instancia demora siguió siendo significativa la influencia de la variable categoría ($F(124,3) = 39,61$; $p < 0,0001$) y el test comparativo de Duncan reveló que los alumnos elaboraron sus explicaciones en términos del modelo de la ciencia, utilizándolo con una probabilidad estadísticamente mayor que los demás ($p < 0,01$). En esta instancia explicaron por ejemplo que «la fuente de luz ilumina el objeto, en este caso la profesora, y como tiene superficies irregulares ocurre una reflexión difusa y también porque la profesora es un cuerpo opaco. Esa reflexión llega a nuestros ojos donde ocurre nuestro proceso de visión y veo a la profesora» (alumno A4).

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A la luz de los resultados obtenidos se puede concluir que antes de la implementación de la propuesta diseñada, los alumnos activaban razonamientos monovariados y reduccionistas. No atendían al conjunto de variables implicadas (luz, objeto y sistema visual) ni a las interacciones que se dan entre ellas (luz-objeto: absorción, reflexión y/o transmisión; sistema visual-luz: percepción). Tendían solo a reconocer los ojos como elemento indispensable para ver. Al modo de conocer inicialmente compartido se lo puede caracterizar con principios ontológicos y conceptuales de estado y hecho o dato, y por un principio epistemológico de realismo ingenuo que los lleva a asumir que «el mundo es y se comporta como los sentidos lo indican».

Tras la implementación de la propuesta diseñada, en la instancia postintervención, los alumnos explicaron el proceso de visión en términos de razonamientos plurivariados y no reduccionistas, usando la concepción propuesta por la ciencia escolar, que puede caracterizarse con principios ontológicos y conceptuales de interacción y sistema. Atendieron así a las tres variables (luz, sistema visual y objeto) y a las múltiples interacciones que se dan entre ellas, para explicar que vemos porque la luz reflejada difusamente por los cuerpos interacciona y estimula el sistema visual del observador. Usaron por lo tanto los modelos abstractos propuestos por la ciencia escolar, por lo que habría un claro proceso superador del principio epistemológico de realismo ingenuo.

Tres meses después de concluir el proceso de enseñanza formal, la situación hallada no cambió sustancialmente en relación con la descrita para la instancia posttest. En tal sentido los alumnos siguieron usando el modelo explicativo propuesto por la ciencia escolar, activando entonces razonamientos sistémicos y multivariados.

En función de lo analizado, se puede concluir que la propuesta didáctica diseñada no solo promovió el desarrollo del modo de conocer de los estudiantes desde uno intuitivo a otro más coherente con el de la ciencia, sino que el aprendizaje ha sido tal que los alumnos pudieron seguir utilizando los modelos por ella propuestos, aun con el paso del tiempo. Estos resultados difieren sustancialmente de

los hallados en trabajos previos (véase, por ejemplo, Bravo, Pesa y Pozo, 2010), en los que se estudió comparativamente el conocimiento que comparten, acerca de la visión y la percepción del color, alumnos que finalizan la educación secundaria obligatoria, alumnos que finalizan la educación secundaria no obligatoria y futuros profesores de Ciencias Naturales. La enseñanza tradicional implementada en aquellos casos, y a diferencia de la aquí propuesta, aborda disciplinalmente los fenómenos ópticos, atendiendo exclusivamente al funcionamiento y la fisiología del sistema visual (dejando de lado las interacciones que se producen fuera del observador al interactuar la luz con los objetos), la naturaleza espectral de la luz o los procesos de absorción, transmisión y reflexión (sin ocuparse de manera integrada de la fisiología y el funcionamiento del ojo humano y de la importancia del sistema visual en estos procesos perceptivos). A su vez, el desarrollo se limita por lo general a la descripción de fenómenos, hechos o datos, más que a la interpretación y explicación de estos a partir de los modelos propuestos por la ciencia. Y dichos modelos suelen ser explicitados, transmitidos, por el docente en algún momento de la instrucción, pero su uso (y el desarrollo de la habilidad de usarlos) en distintos contextos, por lo general, no se ve propiciado (Bravo, 2008). En los trabajos mencionados observamos que este tipo de abordaje no favorece un cambio sustancial en el modo de conocer de los alumnos, ya que si bien la tendencia al uso de ideas intuitivas disminuye, el nivel de escolarización aumenta; estudiantes de secundaria (obligatoria y no obligatoria) y futuros docentes de dicho nivel explicaron los fenómenos perceptivos analizados en términos esencialmente análogos: basándose en su conocimiento cotidiano.

CONCLUSIONES Y PROYECCIONES

Los resultados de esta experiencia muestran que la propuesta didáctica implementada parece potenciar el uso de modelos cada vez más complejos y coherentes con los de la ciencia. Y que el aprendizaje propiciado implicó un cambio sustancial en el modo de conocer de los estudiantes, inherente a los principios ontológicos, epistemológicos y conceptuales que subyacen a su saber inicial. A su vez, dicho aprendizaje fue lo suficientemente significativo para que, tras la instrucción, e incluso después de transcurrido un tiempo desde su culminación, los alumnos sigan elaborando explicaciones en términos de la ciencia escolar.

Se considera oportuno destacar que los resultados obtenidos en este estudio dejaron en evidencia que es posible propiciar el aprendizaje de Ciencias en educación secundaria, considerando este proceso como un cambio sustancial en el modo de conocer, el cual implica el paso paulatino de un saber intuitivo a otro cada vez más coherente con el de la ciencia.

Con el objetivo de hallar la mayor cantidad de indicadores posibles que permitan evidenciar los factores que conducen a dicho aprendizaje, analizamos la influencia de otras variables sobre el tipo de concepciones utilizadas tras la instrucción (puntualmente, la influencia de la tarea, del contenido y del quehacer docente) y estudiamos cómo fue cambiando el modo de conocer de los estudiantes conforme avanzó el proceso de enseñanza (evitando de este modo que el trabajo se reduzca al estudio de las instantáneas pre-postest).

En próximos trabajos abordaremos los aspectos mencionados, intentando seguir presentando datos concretos que permitan comprender cada vez con mayor rigurosidad cómo aprenden ciencia los estudiantes y qué estrategias de enseñanza resultan más eficaces para propiciar dicho aprendizaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSSON, B. y KÄRRQVIST, C. (1983). How Swedish pupil, aged 12-15 years, understand light and its properties. *International Journal of Science Education*, 5 (4), pp. 387-402.
- BACHELARD, G. (1985). *La formación del espíritu científico*. XII ed., Buenos Aires: Ed. Siglo XXI.
- BELENDEZ, A.; PACUAL, I. y ROSADO, L. (1998). La enseñanza de los modelos sobre la naturaleza de la luz. *Enseñanza de las ciencias*, 7 (3), pp. 271-275.
- [AUTOCITA 4] 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*, 3, vol. 10.
- BRAVO, B., PESA, M. y POZO, J. I. (2008). El saber de la ciencia en relación a la visión y el color. Una propuesta para su enseñanza. *Memorias I Congreso Internacional de Didácticas Específicas*. Argentina.
- [AUTOCITA 6] BRAVO, B.; PESA, M. y POZO, J. I. (2009). The learning of sciences: a gradual change in the way of learning. The case of vision. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 14(2), pp. 299-317.
- BRAVO, B.; PESA, M. y POZO, J. I. (2010). Los modelos de la ciencia para explicar la visión y el color: las complejidades asociadas a su aprendizaje. *Enseñanza de las ciencias*, 28(1), pp. 113-126.
- BRAVO, B. y ROCHA, A. (2004). Aprendiendo sobre la luz y el color en Segundo Ciclo de Educación General Básica (E.G.B.). *Journal of Science Education. Revista de Educación en Ciencias*, Colombia, n.º 1, vol. 5, pp. 43-46.
- BRAVO, B. y ROCHA, A. (2006). Concepciones de alumnos de educación primaria sobre la visión y percepción del color. *Memorias del SIEF VIII*, Argentina.
- 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*, 3, vol. 7, pp. 582-596.
- CHI, M. T. H. (2002). Conceptual Change within and across Ontological Categories: Examples from Learning and Discovery in Science. En M. Limón y L. Mason (eds.). *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Londres: Kluwer academic publishers.
- DEDES (2005). The mechaism of vision: Conceptual similarities between historical models and children's representations. *Science Education*, 14, pp. 699-712.
- DRIVER, R.; GUESNE, E. y TIBERGHEN (1989). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. España: Editorial Morata S. A.-MET.
- FEYNMAN, R.; LEIGHTON, R. y SANDS, M. (1971). *The Feynman. Lectures on Physics*. Vol. I, *Mechanics, Radiation and Heat*. Edición bilingüe. México: Ed. Fondo Educativo Interam.
- FLAK, F.; BRILL, D. y STORK, D. (1990). *Seeing the Light. Optics in nature, photography color, vision and holography*. NY Harper & Road Pub.
- GALILI, I. y HAZAN, A. (2000). Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22 (1), pp. 57-88.
- GÓMEZ CRESPO, M. A.; POZO, J. I. y SANZ, A. (1995). Students' ideas on conservation of matter: effects of expertise and context variables. *Science Education*, 79 (1), pp. 77-93.
- GÓMEZ CRESPO, M. A. y POZO, J. I. (2004). Relationships between everyday knowledge and scientific knowledge: understanding how matter changes. *International Journal of Science Education*, 26 (11), pp. 1325-1343.
- MONSERRAT, J. (1998). *La percepción visual. La arquitectura del psiquismo desde el enfoque de la percepción visual*. España: Ed. Biblioteca Nueva, S. L.
- NESHER, P. y SUKENIK, M. (1991). The Effect of Formal Representation on the Learning of Ratio Concepts. *Learning and Instruction*, 1, pp. 161-175.

- OSUNA GARCÍA, L.; MARTÍNEZ TORREGROSA, J.; CARRASCOSA ALÍS, J. y VERDÚ CARBONELL, R. (2007). Planificando la enseñanza problematizada: el ejemplo de la óptica geométrica en educación secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, 25(2), pp. 277-294.
- PESA, M. y CUDMANI, L. (1993). Paralelismo entre los modelos precientíficos e históricos en la óptica. Implicaciones para la educación. *Caderno catarinense enseñanza física*, 10(2), pp. 128-136.
- POZO, J. I. (2001). *Humana mente. El mundo, la conciencia y la carne*. Madrid: Ed. Morata S. L.
- POZO, J. I. y GÓMEZ CRESPO, M. (1998). *Aprender y enseñar ciencias. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Ed. Morata SL.
- POZO, J. I.; GÓMEZ CRESPO, M. A. y SANZ, A. (1999). When conceptual change does not mean replacement: different representations for different contexts. En W. Schnotz, S. Vosniadou y M. Carretero (eds.). *New perspectives on conceptual change*. Londres: Elsevier.
- SANDOVAL, J. y SALINAS, J. (1996). Mezclas de pigmentos y de luces coloreadas. *Revista de Enseñanza de la Física*, 9 (1), pp. 37-48.
- SELLEY, N. J. (1996). Children's ideas on light and vision. *International Journal of Science Education*, 18 (6), pp. 713-723.
- VIENNOT, L. (2002). *Razonar en física. La contribución del sentido común*. Madrid: A. Machado Libros, S. A.
- VIENNOT, L.; CHAUVET, F.; COLIN, P. y REBMANN, G. (2005). Designing strategies and tools for teacher training: the role of critical details, examples in optics. *Science Education*, 89(1), pp. 13-27.
- VILLANI, A. y PACCA, J. (1990). Spontaneous reasoning of graduate students. *International Journal of Science Education*, 76(2).
- VOSNIADOU, S. y BREWER (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, pp. 123-183.

ANEXO 1. LA PROPUESTA DIDÁCTICA

Actividad n.º 1: Tus ideas, mis ideas, nuestras ideas... acerca del proceso de ver

1. ¿Qué debe suceder para que veas los objetos que te rodean?
2. ¿Qué harías para dejar de ver esta hoja? Propón al menos tres alternativas.
3. Confronta tus respuestas con las de tus compañeros y vuelve a contestar a las preguntas con las ideas compartidas por el grupo.
4. Contesta también a las siguientes cuestiones:
 - a) ¿Qué función cumple, en el acto de *ver*, cada uno de los elementos que crees que intervienen en el proceso de visión?
 - b) Elige un objeto cualquiera y representa mediante un dibujo cómo actúa cada uno de los elementos mencionados (en el inciso anterior) cuando ves el objeto elegido.

Para contestar a estas preguntas, puedes realizar todas las experiencias que se plantean en los problemas e intentar llegar a un consenso. En el caso de no llegar a un acuerdo, enuncia las discrepancias. No olvides justificar exhaustivamente cada respuesta y explicar tu proceder al realizar las experiencias.

Actividad n.º 2: La luz, los objetos... y sus interacciones

Para poder comenzar a estudiar el papel de la luz, los objetos y el sistema visual en el proceso de ver, resulta importante que volvamos a analizar cuáles son las características más relevantes de la luz, así como los procesos que se llevan a cabo cuando ella incide en distintos cuerpos.

Haciendo uso de lo todo lo aprendido a partir de estudiar la «formación del día y la noche», realiza las siguientes actividades:

1. Da ejemplos de fuentes de luces naturales y artificiales.
2. Representa mediante un esquema cómo se propaga la luz desde la fuente hasta un objeto cualquiera.
3. Representa, a partir de un dibujo, qué ocurre cuando la luz incide...
 - a) ... sobre un cuerpo opaco.
 - b) ... sobre un cuerpo transparente.
 - c) ... sobre un cuerpo espejado.

Actividad n.º 3: Nuestro sistema visual

Cuando en un día soleado, tras permanecer al «aire libre» durante un tiempo, entramos a una habitación nos cuesta «ver con claridad» los objetos que hay dentro: ¿por qué?

1. De las siguientes opciones, elige la que creas más adecuada para explicar la situación enunciada. Si no estás de acuerdo con ninguna de ella, elabora tu propia explicación.
 - a) Dado que la intensidad de la luz es diferente si proviene de un foco o del Sol, los objetos que se encuentran dentro de la habitación reflejan menos luz que los que están al «aire libre», y por ello no los vemos (dentro de la habitación) con tanta claridad.
 - b) Por permanecer tanto tiempo al aire libre, estamos encandilados y por eso, al entrar en la habitación, cuesta mucho distinguir los objetos (hay que esperar que las pupilas se dilaten para poder verlos).

- c) Sucede que la luz que ilumina las cosas que hay en la habitación es menos intensa que la luz del Sol que ilumina los objetos que hay fuera. Por ello, no vemos con tanta «claridad» lo que hay dentro de la habitación cuando entramos a ella.
 - d) Al estar en contacto con la luz solar las pupilas se contraen, lo que impide que la luz (proveniente de los objetos) que puede entrar en el ojo sea la suficiente para estimular el sistema visual y así verlos con claridad.
2. Elige una de las respuestas con las que NO estás de acuerdo y explica por qué no lo estás.
 3. Comparte tus ideas con las de tu compañero y elabora una respuesta en conjunto. Si no llegáis a un consenso, describe las discrepancias.

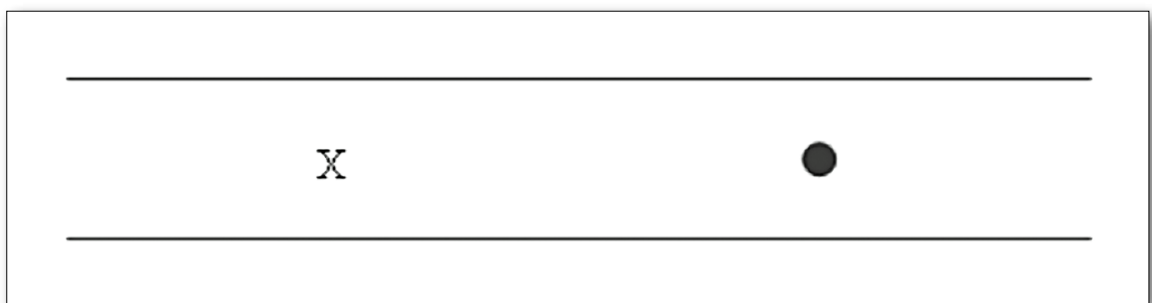
A fin de corroborar tus predicciones, te propongo realizar la siguiente actividad:

Necesitarás: una linterna, un espejo, oscurecer el salón y... tus ojos. Observa el tamaño de tu pupila haciendo uso de un espejo. Pide a un compañero que ilumine uno de tus ojos con la linterna y observa los cambios que ocurren en la pupila.

- a) Registra todas tus observaciones.
 - b) Intenta a continuación dar una explicación a los cambios observados.
4. ¿Qué respuesta darías a la siguiente pregunta?: «¿Qué debe suceder para que el sistema visual se ponga en funcionamiento?».
 5. Realiza un esquema del ojo humano e indica todas aquellas partes y funciones que recuerdes.
 6. Realiza una búsqueda bibliográfica que te permita construir un modelo tridimensional de nuestro ojo que ayude a reconocer las partes constitutivas y a interpretar cómo «funciona».

Actividad n.º 4: Nuestro sistema visual

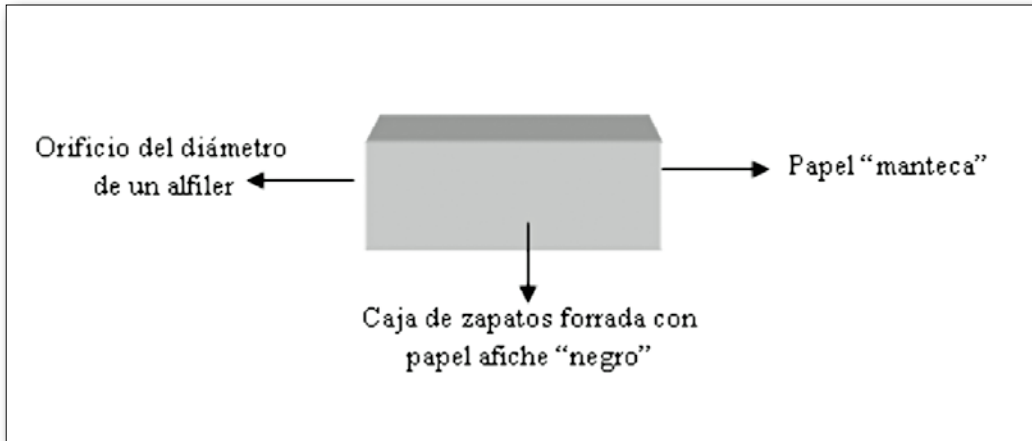
1. Cierra el ojo izquierdo y utiliza el derecho para ver la X. Mueve lentamente esta hoja acercándola a tu ojo y luego alejándola. En algún momento parecerá que el punto desaparece. A partir de lo que hemos discutido en clase respecto al funcionamiento de nuestros ojos, explica el fenómeno experimentado.



2. Debes realizar esta actividad en una noche clara y sin fuentes de luz artificiales cercanas. Mira las estrellas y localiza una poco brillante ubicada ligeramente hacia la derecha o la izquierda del punto en el cual te encuentres observando. Si cambias tu foco para mirar directamente a esa estrella, esta parece desaparecer. A partir de lo que hemos discutido en clase respecto al funcionamiento de nuestros ojos, explica el hecho experimentado.

3.

a) Construye el siguiente dispositivo, conocido con el nombre de «cámara oscura»:



- b) *Enfoca* algún objeto iluminado con la caja, de manera que el orificio quede ubicado hacia él. Describe lo que observas en el papel «manteca».
- c) Compara las partes constitutivas del dispositivo que construiste con las que constituyen nuestros ojos. Enuncia similitudes y diferencias.
- d) Enuncia similitudes y diferencias entre el funcionamiento de la cámara negra y el de nuestro sistema visual.

4.

- a) Realiza una búsqueda bibliográfica que te permita conocer los elementos constitutivos de una máquina fotográfica, así como su función. Describe los procesos implicados al sacar y revelar una fotografía.
- b) Compara ahora las partes constitutivas y el funcionamiento de la máquina fotográfica con los de nuestro sistema visual. Enuncia similitudes y diferencias.

5. Compara ahora nuestro sistema visual con el resto de los sentidos de manera que puedas completar la siguiente tabla:

<i>Sentido</i>	<i>Órgano receptor</i>	<i>Estímulo externo que «activa» el órgano</i>	<i>Sensación producida</i>
Auditivo			
Tacto			
Olfato			
Visión			

Actividad n.º 5. ¿Y el rol del objeto?

Relee las respuestas que diste inicialmente a la siguiente actividad y decide si la cambiarías. En el caso de que consideres oportuno cambiarla o ampliarla da tu nueva explicación.

Mi profesora me dijo que para ver esta rosa necesito la luz, los ojos y que obviamente esté la rosa... Puedo entender la importancia de la luz (la cual ilumina el objeto) y de los ojos (que en última instancia me permitirán verla), pero no entiendo cuál es la función que cumple esta rosa en el proceso de visión. No entiendo cómo se relaciona con la luz que a ella llega y con mis ojos que la ven... **¿Podrías explicármelo?**

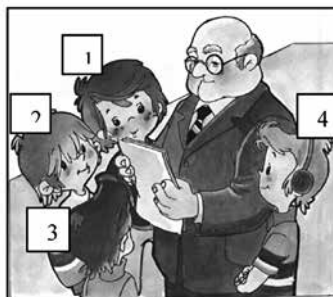


1. Comparte tu respuesta con la de tus compañeros e intentad elaborar una nueva respuesta que sea representativa del grupo. En caso de no llegar a un consenso, explica las discrepancias.
2. Realiza un esquema conceptual, incluyendo la mayor cantidad de términos posibles (y especificando las conexiones o nexos entre ellos), para explicar de la manera **MÁS COMPLETA POSIBLE** «CÓMO VEMOS LOS OBJETOS QUE NOS RODEAN».

Actividad n.º 6. El proceso de ver...

1. Utilizando tu idea acerca de cómo vemos, explica por qué si cubres esta hoja con un cartón dejas de verla, mientras que si utilizas un folio sigues viéndola.
2. Utiliza tu idea acerca de cómo vemos para contestar a las siguientes cuestiones relacionadas con la situación que aparece en el dibujo. Representa tus respuestas mediante un esquema.
 - a) ¿Dónde ubicarías una fuente de luz para que el abuelo lea claramente lo que sus nietos le escribieron? ¿Por qué?
 - b) Con la fuente de luz donde la ubicaste: ¿alguno de los chicos vería también lo escrito? ¿Cuál? ¿Por qué?
 - c) Con la fuente de luz donde la ubicaste: ¿vería lo escrito el niño más pequeño (n.º 3)? ¿Por qué?
 - d) ¿Qué vería el abuelo si la hoja fuera de nylon? ¿Por qué?
 - e) El niño que tiene auriculares (n.º 4) dice «no» al ver la hoja: ¿cuáles crees que pueden ser las razones de que esto suceda? Da al menos dos razones distintas que te permitan justificar el hecho de que este niño no percibe la hoja.

Puedes imitar la situación como ayuda a la hora de elaborar tus explicaciones.



ANEXO 2. LOS INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN

Instancia pre-test

Actividad: Nuestras ideas

1. Explica qué sucede para que tú puedas ver esta hoja. *Básate en tu idea acerca de cómo vemos y elabora una explicación lo más completa y detallada posible.* Complementa tu respuesta con un dibujo.
2. ¿Por qué se dificulta la visión si *a*) apagas las fuentes de luz presentes en la habitación (logrando, entonces, oscurecerla) y *b*) cierras los ojos? Justifica tus respuestas de la manera *más completa y detallada* posible.
- 3.



¿Podrías explicarme porqué yo lo veo a él y él no me puede ver a mí?

Mi profesora me dijo que para ver esta rosa necesito la luz, los ojos y que obviamente esté la rosa... Puedo entender la importancia de la luz (la cual ilumina el objeto) y de los ojos (que en última instancia me permitirán verla), pero no entiendo cuál es la función que cumple esta rosa en el proceso de visión. No entiendo cómo se relaciona con la luz que a ella le llega y con mis ojos que la ven... **¿Podrías explicármelo?**



Instancia posttest

Actividad: Evaluando nuestro aprendizaje

Como una manera de que juntos podamos evaluar lo que hemos aprendido, te entregamos un posible guión para una obra de teatro infantil. Deberás completar el diálogo de Fabián dándoles a sus amigos una explicación coherente con la de las ciencias respecto a los fenómenos que intentan comprender.

Damián invitó a sus amigos a ver una película en su casa. Acudieron Fabián, Manuela, Marcelo, Pablo y Analía. Mientras miraban la película, que era de ciencia ficción, algunos de ellos comentaban asombrados lo que le sucedía a los protagonistas. Sin embargo, Fabián no estaba de acuerdo con los comentarios de sus amigos:

–Eso no es verdad, solo son trucos que hacen que parezca realidad... Es solo una película de ciencia ficción, todo tiene su explicación Y se pueden lograr esos efectos trabajado adecuadamente con los elementos necesarios, sobre todo con la iluminación...

(...)

–Es más o menos lo mismo, Pablo. Porque..., piensa cómo vemos...

–¿Cómo como vemos?

Vemos porque miramos –interrumpió Analía.

–Sí..., porque tenemos los ojos abiertos y hay luz que ilumina. Porque si no hay luz no vemos nada..., o al menos vemos todo oscuro –agregó Damián.

–Bueno..., si no hay nada, nada de luz, no vamos a ver –aclaró Fabián–. Pero lo que pregunto es: ¿qué ocurre para que con los ojos abiertos y la luz iluminando las cosas podamos ver? (se miran interrogándose en silencio).

–Para que podamos ver... –continuó Fabián–, la luz debe llegar a nuestros ojos. Como el sonido debe llegar a nuestros oídos para poder escuchar, o el perfume a la nariz para poder percibir los aromas.

–¿Pero la luz que sale de la lámpara? –preguntó Analía.

–Bueno... para ver este sillón.

1.

–Ah –corearon los amigos.

–¿Entendieron? –preguntó Fabián–. Veamos si es cierto. Manuela, ¿cómo explicas, usando esta idea que te conté, que si me coloco de espaldas a ti ya no puedo verte?

–Ocurre que... –dijo Manuela.

2.

–¡Muy bien! –exclamó Fabián–. Y a ver, Pablo –continuó–, ¿cómo explicarías el hecho de que si apago todas las fuentes de luz y logro oscurecer totalmente esta habitación, ya no podríamos ver nada?

–Eso es fácil –contestó Fabián–. Lo explico diciéndote que:

3.

–Bueno, parece que sí lo han entendido –reflexionó Fabián–. Solo quedaría por explicar, por ejemplo, por qué si te vendo los ojos, Damián, ya no ves lo que ocurre a tu alrededor.

Damián contesto:

4.

[...]

Instancia demora

Actividad: Evaluando lo aprendido. Después de un tiempo

Utilizando *tu idea acerca de cómo vemos y cómo y por qué vemos objetos coloreados*, elabora la explicación *más completas y detallada posible* que le darías...

1. ... a tu profesor, si te pide que expliques qué sucede para que puedas verla cuando está iluminada y se para frente a ti.

3. ... a un niño que no entiende por qué no lo ven cuando se esconde detrás de un árbol o cuando juega al escondite, pero sí lo ven si se detiene detrás de una ventana.

5. ... a un niño que, estando en una habitación en penumbra, *descubre* que ve con bastante claridad a su mamá, que acaba de entrar a la habitación, pero que ella no puede verle a él.

7. ... a tu profesora, que te pide que justifiques por qué *no todos* los seres humanos ven roja la «primera fuente luz» de los semáforos (por ejemplo).

TEACHING AND LEARNING OF SCIENCE. A STUDY ON «WHAT, WHEN AND HOW MUCH» STUDENTS LEARN ABOUT VISION

Bettina Bravo

CONICET. Facultad de Ingeniería, UNCPBA
(bbravo@fio.unicen.edu.ar)

Marta Pesa

Dpto. de Física, FCEyT, UNT, Av. Independencia, 1800, Tucumán, Argentina.

Juan Ignacio Pozo

Dpto. de Psicología Básica, UAM, Campus de Cantoblanco, Madrid.

Abstract: Many research works have studied ideas related to vision in students of different ages. Most of them have shown that even after the formal teaching, students of different levels of education tend to explain that “we see because we have eyes”. That is to say, intuitive ideas, models and conceptions are used, based on a reductionist way of reasoning instead of a non-systemic one. As a result, these ways of explaining the phenomena are the opposite of the ones proposed by science.

Considering this situation, it is necessary to ask about the reason why students, in spite of having a formal education, seem not to learn the ideas proposed by science. Why do students have so many difficulties in building scientific models related to the visual perception phenomena? What kind of learning does the construction of these models involve?

The theoretical perspective adopted in this case implies that the scientific knowledge and the intuitive knowledge are considered as two ways of knowing, two completely different ways of “seeing” and interpreting the world that show different implicit characteristics. These differences could be related not only to the explicative model but also to the conceptual, epistemic and ontological principles that characterize each way of learning.

Learning scientific knowledge, and particularly the models proposed to explain the direct vision of an object, would mean:

- To overcome naive/ingenuous realism, so as to relate intuitive ideas to the scientific ones, while identifying them as different ways of understanding the world, by means of which explanations at different levels of complexity and contextual validity can be developed.
- To overcome ontological restrictions imposed by intuitive ideas and to acquire the underlying principles to the construction of scientific knowledge. The main problem of learning processes that need a change in the ontological categories might be due to difficulties in reinterpreting the phenomena in terms of interaction processes, as this seems to go against the intuitive tendency to understand them within the causal linear and unidirectional relations.
- To overcome the conceptual restrictions imposed by the ideas that are built intuitively and that gradually might lead to acquire the principles implied in the building of scientific knowledge. This implies the idea of overcoming the principle of “fact or data”, so as to accept interaction as a way of understanding these phenomena.

With the idea of favoring a relevant learning of scientific knowledge, a teaching proposal was designed which was carried out in a group of secondary school students.

In this study it was analyzed what and how students learn, when the learning is guided through a teaching methodology specially designed for this investigation. To do this, the way of knowing of the students was studied in three stages: before the instruction, immediately after the implementation and then three months after the ending of the teaching process. With this information what was analyzed was the level of conceptualization that students had reached and also the influence of instruction in the experienced learning.

The study was carried out with one group of 32 students between 13 and 14 years old, in Argentina. The design was factorial, with pre-test, post-test and later tests. It studied the influence (and interrelation) of the independent variable (time of instruction) over the dependent variable represented by the probability with which the students use the different conceptions.

The results obtained in the pre-test stage allowed us to see that before the teaching processes were put into practice, students activated ways of reasoning that we have characterized as reductionists and mono-varied, not systemic. So, ontological, conceptual and epistemological principles of state, fact or data and naïve realism are associated to this way of knowing.

The proposal helped diminish the probability of students to use intuitive ideas and helped increase the use of scientific ideas. Students ended up explaining the perceptive process in terms of abstract models and ways of reasoning characterized as pluri-varied.

Taking into account all the above mentioned, we could conclude that the teaching proposal favored a change in the way of how students know, from an initially intuitive way to another more coherent with the one of school's science. The fostered learning was such that students, even in the later test stage, went on using the models built as the product of schooling.

The results obtained show that it is possible to foster the learning of sciences in Secondary School Education if this process is thought as a substantial change in the way of knowing, which implies the gradual step from an intuitive knowledge to another more coherent with the one of science.