

El cambio conceptual en el aprendizaje de las ciencias. Un estudio de los procesos involucrados al aprender sobre la luz y la visión

Bettina Bravo¹ y Marta Pesa²

¹CONICET, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. ²Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. Emails: bbravo@fio.uncen.edu.ar, mpesa@herrera.unt.edu.ar

Resumen: en este trabajo se estudia qué, cómo y cuándo aprenden los alumnos de educación secundaria acerca de los modelos que la ciencia propone para explicar la visión, cuando se implementa en el aula una propuesta didáctica especialmente diseñada para favorecer un cambio conceptual, ontológico y epistemológico. Trabajando con alumnos de edades comprendidas entre los 15 y 16 años, se implementa un diseño cuasi-experimental de tipo pretest-intervención-posttest. Se halla que los alumnos habrían experimentado un cambio radical en su modo de conocer que le permitió pasar 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 halla que dicho proceso fue lento y paulatino y que en todo momento, aún luego de la enseñanza, "compiten" en la mente de los alumnos ideas intuitivas con ideas de la ciencia; lo que da cuenta de la dificultad que implica aprender a gestionar y usar consistente y coherentemente las nuevas ideas.

Palabras clave: Cambio conceptual, propuesta de enseñanza, educación secundaria; fenómenos ópticos; visión, formación de imágenes.

Title: Conceptual change in learning science. A study of the processes involved in learning about light and vision.

Abstract: In this paper we study what and how students learn in secondary education, science models proposed to explain the vision, when implemented in the classroom, a teaching model designed in this research. It works with high school students 15 to 16 years old. It implements a quasi-experimental design type pretest-intervention-posttest. Students has experienced a radical change in their way of knowing. The process was slow and gradual. At all times competing in the minds of students intuitive ideas with the ideas of science. Students had difficulty using consistent and coherent new ideas.

Keywords: Conceptual change proposal, secondary education; optical phenomena; vision, imaging.

Introducción

¿Cómo aprenden ciencias los alumnos de nivel secundario?; ¿qué procesos cognitivos se llevan a cabo?; ¿por qué aprender ciencias les presenta tantas dificultades?; ¿por qué tienden a usar un saber intuitivo no

científico, aún luego de la enseñanza científica formal?; ¿qué características y naturaleza tiene ese saber intuitivo que lo hace tan persistente a los cambios que se intentan favorecer desde la enseñanza?; ¿qué tipo de cambios debería potenciar la educación formal? Estas son algunas de las preguntas que preocupan y ocupan a la investigación educativa en ciencias desde sus orígenes. Durante las últimas tres décadas la misma se ha abocado, principalmente, al estudio de las concepciones de los alumnos y las características de los cambios conceptuales que implicaría el aprendizaje de las ciencias, abordándose desde distintos marcos teóricos que involucran perspectivas epistemológicas, ontológicas, axiológicas, afectivas y atienden a los últimos aportes de la psicología cognitiva.

En esta línea de investigación, numerosos trabajos revelaron (y siguen revelando) que ante diversas áreas conceptuales, alumnos de diversas edades y niveles educativos siguen utilizando sus robustas y arraigadas ideas intuitivas aún luego de la enseñanza científica formal. Así, en relación a fenómenos asociados con la luz, tienden a explicar (basándose en modos de razonar reduccionistas y no sistémicos antagónicos a los propuestos por la ciencia) que vemos, simplemente porque “tenemos ojos sanos”; “el ambiente está iluminado” y/o “dirigimos la mirada hacia el objeto que queremos ver” (ver por ejemplo, Bravo, Pesa y Pozo, 2010; Bravo, Pesa y Rocha, 2011; Galili y Hazan, 2000; Gil Llinás Badajoz, 2003; Osuna García, 2006; Pesa y Cudmani, 1993; Pesa, Cudmani y Bravo, 1993; Salinas y Sandoval, 2000; Viennot, 2002).

Consideramos entonces necesario continuar indagando acerca de cómo conocen los alumnos; qué procesos de cambios estarían involucrados en el aprendizaje de las ciencias para, en relación con ellos, decidir qué estrategias de enseñanza favorecerían más eficazmente dicho aprendizaje. En este contexto se elabora el presente trabajo que tiene como objetivo general indagar qué y cómo aprenden los alumnos el saber de la ciencia en relación a los fenómenos de visión cuando se guía su aprendizaje con una propuesta de enseñanza diseñada especialmente para favorecer un cambio conceptual, epistemológico y ontológico.

Fundamentación teórica e investigación previa

La perspectiva teórica que adoptamos aquí implica concebir al saber de la ciencia y al saber de los alumnos como dos modos de conocer, dos maneras distintas de “ver” e interpretar el mundo, que presentan características diferentes. Estas diferencias estarían relacionadas no sólo con el modelo explicativo, la idea, la concepción usada, sino también con su naturaleza representacional (Hogarth, 2002; Karmiloff-Smith, 1992; Pozo, 2001). Así, las representaciones que conforman el saber de la ciencia presentan naturaleza explícita, simbólica y abstracta; están relacionadas entre sí por criterios semánticos o de significado y son transferibles a diversas situaciones y contextos. Las representaciones mentales que conforman el saber intuitivo, en tanto, presentan naturaleza implícita y están fuertemente ligadas al contexto en que se construyeron, por lo que su transferencia a nuevas situaciones y problemas resulta dificultosa. Estas concepciones representan una teoría explicativa (llamado frecuentemente conocimiento intuitivo) que puede ser utilizada para proporcionar explicaciones y predicciones sobre los fenómenos del mundo (Vosniadou, 2012).

Al conocimiento intuitivo (y a su construcción) subyacen supuestos ontológicos, epistemológicos y conceptuales que suelen diferir de los que subyacen al saber científico (Chi, 1992, 2008; Chi, Roscoe, Slotta, Roy y Chase, 2012; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Pozo, 2001; Salinas y Sandoval, 1996; Viennot, 2002; Vosniadou, 1994; 2007, 2012).

En este sentido, y atendiendo a lo propuesto por Pozo y Gómez Crespo (1998), al saber intuitivo se lo puede caracterizar en término de los principios conceptual de *dato* (ya que los fenómenos y hechos se describen en función de propiedades y cambios observables); ontológico de *estado* (en tanto se interpreta el mundo en función de estados de la materia, desconectados entre sí) y epistemológico de *realismo ingenuo* (dado que se concibe que la realidad es como la vemos, y por ende no se concibe lo que no se percibe). Al conocimiento científico, en tanto, se lo puede describir en término de los principios conceptual de *interacción* (dado que las propiedades de los cuerpos y los fenómenos se interpretan como un sistema de relaciones de interacción); ontológico de *sistema* (ya que los fenómenos se interpretan a partir del conjunto de relaciones complejas que forman parte de un sistema) y epistemológico de *constructivismo* (ya que se concibe que el conocimiento es una construcción que nos proporciona modelos para interpretar la realidad pero que no son la realidad misma).

Los resultados que derivan de la investigación realizada por más de una década por nuestro equipo de trabajo, han dejado en evidencia que estas diferencias ontológicas, epistemológicas y conceptuales se ponen de manifiesto cuando se explican fenómenos relacionados con la luz y la percepción visual, desde un contexto científico y desde uno cotidiano (ver por ejemplo, Bravo y Pesa, 2005; Bravo y Rocha, 2008; Bravo, Pesa y Pozo, 2012; Bravo, Pesa y Rocha, 2013). En tal sentido, desde la ciencia se concibe a la visión como un proceso que sucede como consecuencia de la interacción de diversas variables (luz – objeto – sistema visual) y se lo explica en término de modelos abstractos y modos de razonar plurivariados, no reduccionista y no sistémicos. Así, y de forma sintética, desde este contexto se concibe que para ver un objeto, la luz reflejada por él debe incidir en el sistema visual y, a partir de procesos físicos (como la refracción de la luz y la formación de una imagen real retiniana), 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 el contexto cotidiano, en tanto, se construye un saber basado en las experiencias sensoriales que llevan a asumir que la visión es un acto *instantáneo* que sucede cuando se enciende la luz de la habitación, se abren los ojos y se mira hacia el objeto. Así, se tiende a concebir que: “para ver basta con tener los ojos sanos”; “no vemos lo que hay detrás nuestro porque no tenemos ojos en la espalda”; “sin luz los ojos no funcionan bien”. No se reconocen, entonces, interacciones entre las distintas variables involucradas y se explican los fenómenos en función de hechos observables, concibiéndose que suceden tal como lo registran nuestros sentidos. De hecho, la experiencia sensorial cotidiana, aquella que guía el aprendizaje implícito que sucede a diario y da “origen” al saber intuitivo, respalda estas

ideas ya que, según nuestra percepción, al encender la fuente de luz se ilumina el ambiente “instantáneamente”; por lo que difícilmente surja de esta observación que la luz viaja a gran velocidad desde la fuente y en todas las direcciones. En igual sentido, desde la experiencia y observación cotidiana difícilmente se reconozca que la luz interacciona con los objetos opacos ordinarios a partir de la reflexión difusa y no sólo con los espejos a partir de la reflexión especular (fenómeno que resulta más “visible”). Finalmente, la experiencia inmediata y el entorno social de los niños inducen más a pensar que vemos porque algo sale de nuestros ojos que porque luz incide en ellos y estimula el sistema visual. De hecho al reprender a los pequeños solemos decirles “te estoy mirando, eh?” a la vez que marcamos una línea imaginaria desde nuestros ojos hacia los de ellos; los comerciales invitan a pensar que un nuevo celular se manipula con “la vista”; los poetas hablan de que “tu mirada se clavó en mis ojos”, como para citar algunos ejemplos que dejan en evidencia cómo el entorno inmediato de los niños reforzarían las conclusiones que extraen de su propia experiencia sensorial.

El aprendizaje del modo de conocer de las ciencias en relación a los fenómenos ópticos, implica un cambio conceptual que involucra no sólo la adquisición de nuevos conocimientos, sino también la creación de nuevas categorías ontológicas; una sofisticación epistemológica y la reorganización de las estructuras conceptuales (Vosniadou, 2012).

Pero dicho aprendizaje no conllevaría el abandono de las ideas intuitivas ni su sustitución por otras más complejas y cercanas a los propuestos por las de las ciencias. Dicho aprendizaje implicará la coexistencia de diversas representaciones en la mente de quien aprende. Karmiloff-Smith (1992) proponen que las representaciones originales (aquellas de naturaleza implícita y procedimental), seguirán intactas en la mente del sujeto junto a otras de naturaleza más explícitas (asequibles a la conciencia y verbalizables) que va construyendo mientras aprende. Así, aunque los conocimientos científicos construidos durante dicho aprendizaje tengan mayor capacidad de transferencia a nuevos contextos, los conocimientos intuitivos implícitos seguirán teniendo una función cognitiva sobre todo ante situaciones sobre-aprendidas, por su funcionalidad pragmática (Pozo, 2001).

Aprender ciencias implicará adquirir la habilidad cognitiva para discriminar entre distintas representaciones a utilizar en función de la demanda del problema y el contexto implicado; y aprender a hacer uso consciente, consistente y coherente de las mismas. Para ello resultará fundamental que el sujeto que aprende conozca y reconozca el conocimiento que posee (construido consciente o inconscientemente en aprendizajes previos) y que logre compararlo, relacionarlo, diferenciarlo e integrarlo con el nuevo saber que se espera construya con la enseñanza formal. Este tipo de pensamiento consistente es un sello distintivo de un individuo metacognitivo (Thomas, 2012), actitud que resulta esencial adopten los alumnos a fin de que se experimenten un aprendizaje con las características hasta aquí descritas.

Desde esta perspectiva, y ya a modo de resumen, el aprendizaje del saber de las ciencias no se basaría en la sustitución de una concepción por

otra, ni sólo en la multiplicación de las representaciones que el sujeto dispone para un dominio dado, sino en un cambio referente a los principios epistemológicos, ontológicos y conceptuales que subyacen en la construcción del pensamiento cotidiano (Pozo, 2001).

Ante esta perspectiva, favorecer el aprendizaje de la ciencia implicará una enseñanza que propicie no sólo la reestructuración de las teorías ingenuas de los estudiantes, sino también la reestructuración de sus modos de aprendizaje y razonamiento, la creación de conciencia e intencionalidad meta conceptuales y el desarrollo de una sofisticación epistemológica (Vosniadou, 2012). Y, en concordancia con ello, la enseñanza debería propiciar a los estudiantes la información y herramientas necesarias para que puedan adquirir las nuevas categorías ontológicas y superar su punto de vista epistemológico ingenuo para comprender los modelos complejos de la ciencia.

Con este desafío en mente diseñamos una propuesta de enseñanza dirigida a alumnos de nivel secundario (edades comprendidas entre los 14 y 15 años) con el objetivo de favorecer el aprendizaje del saber de la ciencia en relación a la naturaleza de la luz y su interacción con los objetos para finalmente explicar la visión directa de los objetos. Las características más relevantes de la metodología de enseñanza diseñada se describen a Bravo, Pesa y Rocha (2014) y se resumen en el anexo 1.

Conforme se implementó la enseñanza se llevó a cabo la investigación cuyos resultados se reportan aquí, la cual tuvo como objetivos:

1) 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 y a la habilidad de usar las nuevas ideas consistentemente al elaborar sus explicaciones. Esto implica:

a) caracterizar el conocimiento de los alumnos acerca de los procesos de visión antes (pretest), inmediatamente después (postest) y luego de dos años (demora) de implementada la propuesta didáctica diseñada en esta investigación, lo que a la vez requiere estudiar: el modelo explicativo compartido, y con ello el reconocimiento de las variables (luz–objetos iluminados o luminosos–lente–sistema visual) e interacciones (luz–objetos: reflexión, refracción; luz–sistema visual: visión) a las que los estudiantes atienden al momento de elaborar una explicación y la consistencia con que usan sus ideas para elaborar explicaciones;

b) evaluar si el modelo compartido luego de la enseñanza adquiere un carácter más sistémico y próximo al conocimiento científico y si el mismo se usa con alto grado de consistencia y coherencia explicativa;

c) evaluar si luego de dos años de culminada la enseñanza los modelos utilizados resultan coherentes con los de la ciencia (tomando este aspecto como un indicador de la solidez y significatividad del aprendizaje experimentado).

2) Evaluar y describir cómo va cambiando el saber de los alumnos conforme avanza la enseñanza, lo que implica caracterizar el conocimiento

de los alumnos acerca de los procesos de visión en momentos claves de la instrucción (etapas didácticas de iniciación; aplicación y síntesis-conclusión). Dicha caracterización requiere nuevamente estudiar el modelo explicativo compartido, y con ello el reconocimiento de las variables e interacciones a las que los estudiantes atienden al momento de elaborar una explicación, y la consistencia con que usan sus ideas para elaborar dichas explicaciones.

3. Contexto y metodología

Participantes

Se trabaja con alumnos de educación secundaria de edades comprendidas entre los 15 y 16 años, perteneciente a una escuela de gestión pública de la ciudad de Olavarría (Buenos Aires, Argentina).

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) avalan una formación científico didáctica coherente con las líneas más actuales, y por el interés y predisposición que mostró desde un primer momento para implementar la propuesta diseñada y 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 las características propias de la propuesta didáctica diseñada, se concretaron instancias de trabajo conjunto antes y durante su implementación. En los 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 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.

Diseño del estudio

En esta investigación se implementa un estudio de tipo pretest-intervención-posttest y sobre los datos obtenidos se realizan dos tipos de análisis (1 y 2) con el fin de evaluar los objetivos planteados (1 y 2 respectivamente).

El análisis 1 (A1), de naturaleza cuali-cuantitativa, implica realizar un diseño factorial que permite estudiar la influencia de las variables independientes sobre la dependiente. Se establece como variable dependiente la frecuencia con que los alumnos utilizan distintos modos de conocer: Ideas Intuitivas, Modelos Híbridos, Ideas escolarizadas e Ideas de la Ciencia Escolar. Como se definió en la introducción de este trabajo, las ideas intuitivas son aquellas que los alumnos han construido como consecuencia de su interacción cotidiana con el mundo físico y social, y suelen compartir antes de la enseñanza formal. Las ideas de la ciencia escolar son aquellas que se pretende que construyan con la instrucción (la

cual ha sido descrita con antelación). Las ideas escolarizadas son concepciones que resultan coherentes con las de la ciencia pero incompletas o parcialmente completas en relación con lo que ésta propone. Los modelos híbridos en tanto, son concepciones erróneas que a menudo suelen construir inconscientemente los alumnos al agregar información científica a su conocimiento previo existente, cuando éste resulta incompatible con el de la ciencia (Vosnadou, 2012). Estos modelos pueden surgir cuando, durante el aprendizaje, se produce algún conflicto entre las estructuras conceptuales (previas y nuevas) que en lugar de enriquecer fragmentan el saber que se va construyendo, lo que conduce a una mayor incoherencia interna y a la construcción de concepciones no acordes con las de la ciencia (Op Cit).

En la Tabla 1 se presentan las cuatro categorías mencionadas definidas en función de los resultados obtenidos en trabajos previos (ver por ejemplo Bravo y Pesa, 2005; Bravo y Rocha, 2008) y se las describe y caracteriza a la luz del marco teórico subyacente a este trabajo. Se definen como variables independientes de la investigación las categorías de respuestas presentadas en la tabla anterior y el momento de la enseñanza (antes, inmediatamente después y luego de transcurrido dos años de la culminación de su implementación).

Con el fin de analizar cuantitativamente la influencia de las variables independientes sobre la dependiente, se calcula la frecuencia media con que la totalidad de los alumnos (N=30) usa las concepciones subyacentes a las categorías de respuestas, en las distintas instancias de análisis. Sobre estos valores se realiza un ANOVA no paramétrico (a partir de la prueba de Kruskal Wallis). Este análisis se complementa con uno cualitativo que permite describir las características explícitas e inferir las características implícitas del saber compartido por los alumnos antes y después de la instrucción y los cambios manifestados entre dichos modos de conocer como consecuencia de la enseñanza.

El análisis 2 (A2) implica el estudio de las ideas que un sub grupo de alumnos (N=10) fue utilizando conforme avanzó la enseñanza. Para ello se evaluaron las explicaciones que elaboraron en las instancias de enseñanza de iniciación, aplicación y síntesis-conclusión. Dicha evaluación implicó nuevamente, calcular la frecuencia con que utilizan los distintos modos de conocer (Ideas Intuitivas, Modelos Híbridos, Ideas escolarizadas e Ideas de la Ciencia Escolar) y analizar la consistencia con que las usan (como un indicador más del tipo de saber que van construyendo). En tanto con el fin de evaluar los cambios de modo de conocer que fueron experimentando, se analizaron comparativamente los modelos usados con mayor frecuencia y consistencia en instancias didácticas consecutivas.

Para recolectar los datos que permitieran analizar qué y cuánto aprendieron los alumnos (análisis 1) se implementaron pruebas antes de comenzar el proceso de enseñanza (pretest), inmediatamente de su culminación (postest) y dos años después de finalizada la implementación (demora).

<p>Ideas Intuitivas (categoría 1)</p>	<p>Involucran un modo de conocer cotidiano construido en base al sentido común y la información aportada por los sentidos. Ejemplos: "un observador ve un objeto porque lo mira con sus ojos"; "la lupa forma imágenes porque tiene aumento". Principios subyacentes: Estado (no se reconocen interacciones entre las distintas variables involucradas)-Hecho o dato (se explican los fenómenos en función de hechos observables)-Realismo ingenuo (se concibe que los fenómenos suceden tal como lo registran nuestros sentidos). Modos de razonar: monovariado, reduccionista y no sistémico.</p>
<p>Modelos híbridos (categoría 2)</p>	<p>Conjugan ideas producto de la escolarización con ideas intuitivas. Ejemplos: "para ver el objeto debe estar iluminado, el observador mirar y la imagen llegar a su ojo"; "se ven los objetos porque su imagen llega a los ojos del observador" Principios subyacentes: causalidad lineal simple (se relacionan causal y linealmente las variables reconocidas), estado (dado que las interacciones o procesos reconocidos se explican en términos intuitivos no coherentes con el de la ciencia) y el principio epistemológico de realismo ingenuo. Modos de razonar: monovariado, reduccionista y no sistémico.</p>
<p>Ideas Escolarizadas: correctas y parcialmente completas (categoría 3)</p>	<p>Involucran ideas producto de la escolarización que resultan correctas pero incompletas en términos de las ciencias. Ejemplos: "se forma la imagen porque la luz emitida por los objetos se desvía y cambia de dirección al pasar por la lente"; "para ver la luz emitida o reflejada por los objetos debe incidir en el ojo del observador". Principios subyacentes: causalidad lineal múltiple (se relacionan diversas variables y se las relaciona causal y linealmente), proceso (se reconocen parcialmente los procesos que suceden como consecuencia de la interacción entre variables); proceso de superación del principio epistemológico de realismo ingenuo (se comienzan a utilizar modelos abstractos en lugar de ideas intuitivas para explicar las interacciones). Modos de razonar: plurivariados y no sistémicos.</p>
<p>Ideas de la ciencia escolar (categoría 4)</p>	<p>Ideas coherentes con las de las de la ciencia que se espera construyan los alumnos de nivel secundario. Ejemplo: "Se forma una imagen real cuando la luz reflejada o emitida por un objeto se refracta en la lente convergiendo en un punto del espacio (si la luz diverge se forma una imagen virtual"; "Vemos un objeto porque la luz reflejada o emitida por él incide en el ojo del observador; se refractada en el sistema córnea-cristalino (que se comporta como una lente delgada) y converge en la retina (formándose una imagen real) donde se hallan las células fotosensibles. Esta estimulación conlleva la emisión de estímulos nerviosos que llegan al cerebro donde se interpreta lo que se ve". Principios subyacentes: interacción (en tanto los fenómenos se interpretan como un sistema de relaciones de interacción concibiéndose), sistema (en tanto se reconocen los distintos proceso que suceden al interaccionar las diversas variables) y proceso de superación del principio epistemológico de realismo ingenuo (en tanto se utilizan modelos abstractos en lugar de ideas intuitivas para explicar las interacciones). Modos de razonar: plurivariados, no reduccionista y no sistémicos.</p>

Tabla 1.- Modos de conocer usados para explicar los fenómenos ópticos.

A fin de obtener datos que permitieran analizar cómo fue cambiando el saber de los alumnos conforme avanzó la enseñanza (análisis 2), se evaluó su conocimiento en momentos claves de la instrucción. En el anexo 2 se adjunta, a modo de ejemplo, algunas de las problemáticas diseñadas e implementadas en las distintas instancias de análisis.

Criterios de análisis.

Con el fin de concluir sobre las ideas que los estudiantes utilizaron al momento de elaborar una explicación en las distintas instancias de análisis, se llevó a cabo un estudio minucioso de las respuestas que cada uno dio a las actividades propuestas, siguiendo la metodología implementada y validada en trabajos previos (ver por ejemplo Bravo, Pesa y Pozo, 2010; Bravo, Pesa y Pozo, 2012; Bravo, Pesa y Rocha, 2013). Dicho análisis implica en primera instancia, detectar qué variables e interacciones involucran explícitamente los estudiantes en cada una de las explicaciones elaboradas. Una vez detectadas dichas variables e interacciones se confecciona un esquema conceptual para representar el modelo explicativo subyacente. Luego se asocia dicho modelo a alguna de las categorías preestablecidas inicialmente o a alguna nueva que pudiese definirse a partir de las explicaciones elaboradas. Finalmente se calcula la frecuencia media con que el grupo de alumnos usa las distintas categorías.

A 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, se comparan (cuali y cuantitativamente) las ideas que utilizaron los alumnos con mayor frecuencia en los distintos momentos de análisis.

Resultados

Se presentan a continuación los resultados hallados (R1 y R2) al implementarse los análisis de datos antes descritos (A1 y A2).

R1. Qué y cuánto aprenden los alumnos

La Figura 1 muestra la frecuencia con que la totalidad de los alumnos usaron las distintas categorías de respuestas antes de la enseñanza (pretest), inmediatamente después de su implementación (postest) y luego de dos años de culminada la misma (demora).

Como se puede apreciar, el modo de conocer usado por los alumnos con mayor frecuencia antes (pre) e inmediatamente después de la enseñanza (post), resulta sustancialmente diferente. El análisis estadístico de los datos (a partir de la prueba de Kruskal Wallis) respalda esta premisa, en tanto revela que resulta estadísticamente significativa la diferencia en la frecuencia con que se usan las distintas categorías en estas instancias de análisis ($H=81.75$, $p<0.0001$).

Así, antes de la enseñanza los alumnos usaron las ideas intuitivas (subyacentes a la categoría 1) con una frecuencia estadísticamente mayor que con las que usaron las demás concepciones ($p<0.05$). Y las ideas de la ciencia escolar (involucradas en la categoría 4) no fueron prácticamente usadas en esta instancia. A su vez, el uso de esas ideas no científicas fueron usadas consistentemente por el 80 % de los alumnos que las aplicaron en al menos el 50% de los problemas planteados. Es decir que el saber

compartido por los estudiantes antes de la enseñanza se caracteriza por ser intuitivo y consistente.

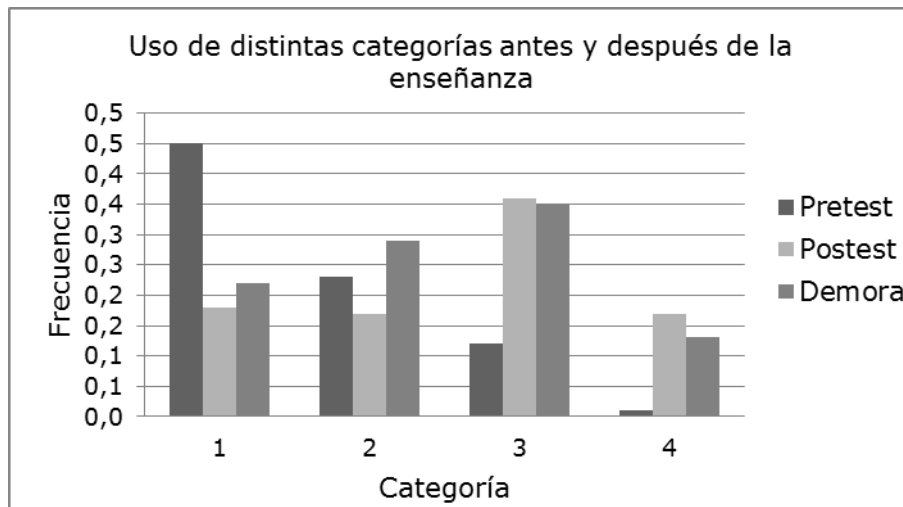


Figura 1.- Frecuencia con que se usan las distintas categorías, antes y después de la enseñanza.

Luego de la enseñanza, en tanto, los alumnos usaron las ideas subyacentes a la categoría 3 (que contempla ideas aunque incompletas, coherentes con las que propone la ciencia escolar) con una frecuencia estadísticamente mayor que las demás ($p < 0.05$).

El análisis comparativo de estas instancias pre y post enseñanza, permite concluir que los alumnos habrían cambiado sustancialmente su modo de conocer. En tal sentido se observa que disminuye significativamente la frecuencia con la que usan las ideas intuitivas subyacentes a la categoría 1 ($p < 0.05$) y aumenta, también significativamente ($p < 0.05$), la frecuencia con las que se usan las ideas coherentes con las de la ciencia (siendo las ideas involucradas en la categoría 3 las usadas con una tendencia estadísticamente mayor que las demás).

Los alumnos, entonces, habrían superado la idea intuitiva que conlleva asumir que para ver basta con tener los ojos sanos y mirar hacia el objeto luminoso o iluminado, para llegar a concebir que para ver un objeto, la luz emitida o reflejada por él debe incidir en el ojo del observador y estimular su sistema visual. A su vez se observa que aumenta sustancialmente la frecuencia con que usan las ideas subyacentes a la categoría 4 (que involucra la idea de la ciencia que se deseaba construir con la enseñanza). Pero la baja frecuencia con que se usan también revela que los alumnos no habrían llegado a interpretar y concebir la formación de la imagen real retiniana, como proceso fundamental para la estimulación visual.

Luego de transcurrido dos años de la implementación de la enseñanza se observa que, si bien no hay un aumento o disminución significativa en el uso de cada categoría, tampoco existe una clara tendencia al uso de una concepción por sobre las demás. Esto es, si bien la mayor frecuencia observada es en relación a la categoría 3, ésta no se diferencia estadística y

significativamente de la frecuencia con la que se utilizan los modelos híbridos subyacentes a la categoría 2.

El saber compartido finalmente por este grupo de estudiantes, entonces, se caracteriza por tender a ser conceptualmente coherente con el de la ciencia pero por ser inconsistente.

El análisis que se presenta en la próxima sección intenta dilucidar con mayor claridad las características de los cambios que se fueron produciendo en el modo de conocer de los alumnos conforme avanzó la enseñanza y transcurrió el tiempo, con el fin de poder concluir con mayor rigor y fundamento acerca de qué y cómo aprendieron y cómo influyó sobre ello la propuesta implementada.

R2. Cómo aprenden los alumnos

Como se mencionó con antelación, el segundo análisis se realizó sobre las respuestas que elaboraron 10 alumnos (alumnos que pusieron voluntariamente a disposición de la investigación sus cuadernos de campo) en distintos momentos de la enseñanza (instancias didácticas de iniciación, aplicación y síntesis-conclusión).

En concordancia con la distribución de frecuencias observada al estudiar el gran grupo de alumnos, antes de la enseñanza este subgrupo de estudiantes tiende a explicar la visión de un objeto en términos no coherentes con las de la ciencia. En tal sentido usan con mayor frecuencia las ideas intuitivas subyacentes a la categoría 1.

Así por ejemplo el alumno A1 explica "veo esta hoja mediante mis ojos" y el alumno A5 afirma "puedo ver la hoja a través de mis ojos, que me permiten ver todo".

Los alumnos concebirían entonces que para ver, basta con tener ojos y mirar, sin reconocer la necesidad de que la luz reflejada por los objetos incida y estimule el sistema visual, y menos aún que la formación de la imagen retiniana es un proceso fundamental de la visión.

Al indagar las ideas iniciales compartidas por este subgrupo de estudiantes sobre el fenómeno de formación de imágenes, hallamos que también tienden a explicarlo en términos intuitivos, concibiendo por ejemplo que la lente, por sus características (su forma), "crea" la imagen de los objetos que se colocan cerca de ella. Así el alumno A29 explica "la lente da vuelta el dibujo reflejado en la diapositiva" y el alumno A13 afirma que "la imagen se ve porque la fuente de luz es tan potente que al enfocar la diapositiva ésta es "atravesada" y la imagen sigue siendo pequeña y la lente aumenta el tamaño de la proyectada para que se vea con claridad".

Una vez realizado el estudio teórico y experimental del fenómeno de formación de una imagen real por lentes delgadas, los alumnos comenzaron a usar ideas coherentes con las de la ciencia al enfrentarse a las tareas de aplicación propuestas. Pero no se observa una tendencia marcada al uso de un tipo de concepción por sobre las demás, sino que se usan con frecuencias similares ideas intuitivas (0,30), modelos híbridos (0,20) e ideas coherentes con las de la ciencia que resultan correctas pero incompletas según lo que ésta propone (0,35). En tanto la frecuencia con que se usan las ideas de la ciencia escolar es prácticamente nula (0,05).

En relación con lo dicho, sólo el 30% de los alumnos logra usar consistentemente sus ideas (siendo éstas de naturaleza intuitiva), en tanto el resto usa alternadamente ideas coherentes con las de la ciencia, ideas intuitivas y/o modelos híbridos. Así por ejemplo el alumno A5 explica haciendo uso de ideas coherentes con las de la ciencia la generación de una imagen real, al explicar: "si se interpone una lente entre una diapositiva iluminada y una pantalla en ésta se observará una imagen real e invertida de un árbol. Esto sucede porque los haces de luz convergen en un solo punto creando una imagen real". En tanto recurre a ideas intuitivas al explicar que "en una máquina fotográfica se forma una imagen porque el objetivo (lente convergente) al obtener luz, logrará captar la copa (objeto) y la película actuará como pantalla para lograr ver la imagen".

El alumno A20, en tanto, usa modelos que hemos llamado híbridos al afirmar que "si se quita la lente en la pantalla se podrá apreciar una imagen distorsionada, no una imagen real, porque los haces de luz no convergen" o ideas intuitivas al explicar que "si se quita la pantalla la imagen se formará pero no se la podrá ver, ya que la pantalla tendría que estar a una cierta medida de la lente para que se forme justo allí". En tanto aplica ideas más coherentes con las de la ciencia al afirmar que "en la cámara fotográfica la imagen de la copa se forma ya que los haces de luz emitidos por este objeto "chocan" con la lente, se refractan y estos haces convergen en la película".

Ya en la instancia de síntesis-conclusión, y una vez culminadas las tareas planificadas para abordar el fenómeno de formación de una imagen real, los alumnos tienden a usar las ideas de la ciencia para explicar este fenómeno. Así, la frecuencia con la que utilizan las ideas subyacentes la categoría 4 (0,45) y 3 (0,30) resultan significativamente mayor a la frecuencia con la que se usan los modelos híbridos (0,10) e ideas intuitivas (0,10).

A su vez se observa que la mayoría de los alumnos (70%) logra usar consistentemente estas ideas de la ciencia. Así por ejemplo haciendo uso de las mismas el alumno A10 responde: "la imagen del sol se forma en el suelo, ya que el sol es un objeto luminoso que emite luz, por lo tanto los haces de luz son dirigido a la lupa, donde los haces refractan y convergen en un mismo punto formando una imagen real, que en este caso se encuentra en el suelo (donde inciden los haces refractados en un mismo punto). El alumno A13 responde "la luz proveniente de un objeto luminoso, como lo es el sol, incide en la lente convergente de la lupa, la cual tiene la característica de converger los haces de luz incidentes, de forma tal que los refractados se acercan al eje central, hasta que éstos se unen en un punto (donde se forma la imagen real). En ese punto exacto en donde se forma la imagen real, en nuestro caso se encuentra en el suelo, que al ser un cuerpo opaco que refleja la luz difusamente podemos observar el sol. Al hacer que los haces de luz fueran convergentes, se forma una imagen invertida, aunque nosotros no lo notemos porque es redondo".

Se podría concluir que para esta instancia didáctica, los alumnos estarían consolidando un modelo coherente con el de la ciencia para explicar la formación de imágenes reales.

Abordado este modelo se comenzó con el estudio del fenómeno de la visión con la intención de que los estudiantes aplicaran el saber construido sobre la formación de imágenes por lentes delgadas, para explicar la

formación de las imágenes retinianas, reconociéndolo como proceso fundamental para la visión.

Una vez realizadas las tareas diseñadas para estudiar el funcionamiento del ojo humano y el fenómeno de la visión, se observa que los alumnos usan ideas coherentes con las de la ciencia al enfrentarse a las actividades de aplicación propuestas. Se observa también que la frecuencia con que se usan las ideas subyacentes a la categoría 4 (0,38) es muy similar a la frecuencia con que se usan las ideas subyacentes a la categoría 3 (0,28) y las intuitivas (0,22). Es decir que el uso inconsistente de modelos vuelve a ser una característica distintiva del saber compartido por estos alumnos. De hecho, el 50% de los estudiantes responde inconsistentemente usando el modelo de la ciencia sólo cuando se los cuestiona directamente sobre cómo vemos esto es, cuando deben "declarar" sus conocimientos. En tanto cuando deben aplicar sus concepciones para elaborar una explicación a una situación problemática acuden a ideas intuitivas o no responden.

Así por ejemplo el alumno A1 intenta usar ideas coherentes con las de la ciencia al explicar que "veo la hoja porque una fuente de luz la ilumina y ésta refleja la luz difusamente que incide en nuestro sistema visual, desde la pupila, pasando a las células fotosensibles donde interactúa químicamente entre ellas y envía estímulos nerviosos al cerebro que interpreta la imagen". Pero ante la pregunta ¿por qué no vemos lo que se halla detrás nuestro?, acude a ideas intuitivas respondiendo "no podemos ver los objetos que se hallan detrás de nosotros porque nuestro sistema visual se encuentra en la parte frontal del cuerpo".

A29 explica haciendo uso de modelos incompletos y parcialmente correctos: "podemos ver la hoja porque la luz proveniente de la fuente de luz se refleja en la hoja y parte de esa luz incide en el ojo, donde se invierte en la retina y luego se vuelve a intervenir en el cerebro"; "no podemos ver los objetos que están detrás mío porque el ojo solo absorbe los haces de luz que tiene adelante".

El alumno A13 es un ejemplo de los alumnos que logra usar con mayor consistencia ideas coherentes con las de la ciencia (subyacente a las categorías 3 y 4). Así explica que "veo la hoja porque los rayos de luz que son reflejados difusamente por la misma, es decir en distintas direcciones, por su superficie rugosa, inciden sobre mis ojos. Allí, los haces se transmiten por la córnea, ingresando por la pupila y son transmitidos por el cristalino, una estructura transparente similar a una lente convergente. Por esto los haces son refractados y re direccionados para converger en un mismo punto en la retina en donde se forma una imagen real de la hoja invertida, que es interpretada por el cerebro". "No podemos ver los objetos que están detrás nuestro ya que nuestros ojos con sus partes (la pupila por donde ingresa la luz, el cristalino en donde se refracta, etc.) se hallan dirigidos hacia adelante".

Ya en la instancia de conclusión, y una vez que el docente ha intervenido ante el gran grupo para sintetizar los modelos analizados, los alumnos no tienden a usar ideas intuitivas o modelos híbridos para explicar la visión de los objetos, sino que utilizan con similar frecuencia (0,43 y 0,47 respectivamente) las ideas subyacentes a las categorías 3 y 4.

En concordancia con ello, el 50% de los alumnos utilizan consistentemente las ideas de la ciencia escolar; el 30% las correctas pero incompletas y sólo un 20% responde inconsistentemente (haciendo uso de ideas de la ciencia y modelos híbridos). Pero que no exista una clara tendencia al uso de la categoría 4 por sobre la 3 conduciría a concluir que el núcleo conceptual más fuertemente consolidado por estos alumnos (núcleo que subyace a ambas categorías) implica concebir que para ver un objeto, la luz reflejada por él debe incidir en el sistema visual del observador, sin reconocerse que esa estimulación implica la formación de una imagen real sobre la retina. Las respuestas elaboradas por los alumnos A18 y A13, permiten ejemplificar lo dicho.

A13 explica haciendo uso de las ideas subyacentes a la categoría 4: "vemos un paquete que se encuentra ante nosotros porque los haces de luz emitidos por la lámpara inciden sobre el paquete y son reflejados difusamente por el mismo, en distintas direcciones, debido a su superficie rugosa. Los haces reflejados inciden en los ojos del niño. Allí, son refractados por la córnea ingresan por la pupila y son refractados por el cristalino, para converger en un mismo punto (punto imagen) donde se forma una imagen real del paquete". En tanto en otra situación usa las ideas subyacentes a la categoría 3 al explicar: "vemos una imagen proyectada en la pantalla debido a que en el proyector una fuente de luz ilumina la diapositiva. Los rayos que se transmiten a través de ella inciden sobre una lente convergente y son refractados para converger en un mismo punto en la pantalla (punto imagen) donde se forma una imagen real de la diapositiva, invertida. Los rayos reflejados en la pantalla difusamente, inciden en nuestro sistema visual".

A18, en tanto explica haciendo uso de las ideas involucradas en la categoría 3: "vemos el paquete porque los haces de luz provenientes de la lámpara inciden sobre el paquete donde se reflejan difusamente. Los haces reflejados inciden en el sistema visual del niño donde luego el cerebro lo interpreta" En tanto en otra situación aplica ideas más cercanas a las de la ciencia escolar al explicar: "vemos una linterna porque la luz emitida por ésta incide en el ojo del niño donde se forma una imagen real en la retina que el cerebro interpreta".

Al igual que al analizar la totalidad del grupo de alumnos, las respuestas que estos 10 estudiantes dieron en la instancia demora respaldada la conclusión anteriormente enunciada. En ese momento la categoría 3 se usa con una frecuencia mayor que la categoría 4 (que prácticamente no es usada en este momento). Pero la frecuencia con que se utilizan modelos híbridos resulta similar a la frecuencia con que se usan esas ideas incompletas pero coherentes con las de la ciencia. Es decir que la inconsistencia en el uso de un modelo en particular parece ser nuevamente una característica del saber de los alumnos.

Uno de los modelos híbridos hallados resulta incompleto e incorrecto en términos de la ciencia, e implica concebir que los objetos iluminados emiten imágenes que viajan por el espacio e inciden en los ojos del observador donde se forma una nueva imagen invertida que el cerebro luego interpretará. El otro modelo híbrido, que resulta incompleto pero no incorrecto en términos de la ciencia, implica concebir que para ver el objeto

este debe reflejar parte de la luz que lo ilumina y el observador con sus ojos, mirar hacia él. Este modelo es superior de la idea intuitiva que implica concebir que el rol del objeto en el proceso de visión es solo el de "estar frente al observador" para concebirse alguno de los fenómenos que ocurren entre la luz y los objetos durante dicho proceso. Pero no se conciben las interacciones entre la luz y el sistema visual como indispensables para que se produzca la visión, por lo que se seguiría asumiendo (en términos intuitivos) que basta con tener ojos sanos para ver.

El tiempo entonces habría provocado un "retroceso" para el aprendizaje de los modelos de la ciencia, conduciendo a que el grupo usara con igual frecuencia modelos híbridos e ideas coherentes pero incompletas respecto de las que se esperaba construyeran con la enseñanza.

Discusión

Tal como lo hemos hallado en trabajos anteriores (ver por ejemplo Bravo, Pesa y Pozo, 2009, 2012), encontramos en esta investigación que antes de la enseñanza los alumnos utilizaron modos de conocer intuitivos para explicar tanto la visión como la formación de una imagen real por lentes delgadas. Ante ambos fenómenos usaron concepciones reduccionistas, mediante las cuales reconocen sólo algunas de las variables involucradas (ojos para la visión; lente para la formación de imágenes) pero desconocen las interacciones que suceden entre ellas. A la luz del marco teórico subyacente a este trabajo, dichos modos de conocer pueden describirse en términos de principios ontológicos y conceptuales de hecho o dato y estado y de un realismo ingenuo que induce pensar que el mundo se comporta tal como lo conciben los sentidos.

Conforme se implementó la propuesta de enseñanza, los alumnos fueron construyendo de forma paulatina un modo de conocer cada vez más coherente con el de la ciencia. Pero los modelos de la ciencia que finalmente usaron con mayor frecuencia no fueron en todos los casos los que se deseaba construyeran con la enseñanza. En tal sentido, lograron usar la idea de la ciencia escolar para explicar las interacciones que se dan entre la luz y los distintos objetos, tanto durante el fenómeno de formación de una imagen real (refracción–convergencia de la luz) como de visión de un objeto (reflexión difusa). Pero llegaron a explicar este último fenómeno en términos más incompletos que lo que se esperaba. En tal sentido, asumieron que para ver la luz emitida o reflejada por los cuerpos debe incidir y estimular el ojo del observador, pero no lograron concebir que dicha estimulación implica la formación de una imagen real retiniana. Así, no fueron capaces de aplicar la idea construida para explicar la formación de una imagen real por lente delgada para explicar la formación de imagen en el ojo humano.

Estos resultados vuelven a dejar de manifiesto (tal como lo habíamos hallado en trabajos previos) la complejidad que implica para los alumnos comprender y construir los modelos que la ciencia propone para explicar la estimulación visual; modelos que, como se dijo, se contradicen contundentemente con las concepciones iniciales de los alumnos. Ya la idea de que la luz debe ingresar a los ojos para estimular el sistema visual

resulta muy difícil de internalizar; por lo que más difícil resultará comprender y “aceptar” los procesos que deben ocurrir dentro del sistema visual. En tanto, los abstractos y multivariados modelos que la ciencia propone para explicar la interacción luz–objetos no parecen ser tan difíciles de comprender. En estos casos, los alumnos tienden a otorgarle inicialmente un rol pasivo a la lente o a los objetos, concibiendo que para que se forma la imagen basta con que la lente esté y para ver el objeto con que éste se encuentre iluminado y ante los ojos del observador. La idea de la ciencia amplía pero no contradice estas concepciones, y su construcción, a la luz de los datos obtenidos, parece ser menos dificultosa, más contundente y sólida. De hecho los alumnos, una vez que logran usarla consistentemente durante la instrucción, siguen haciéndolo con el transcurrir del tiempo (y sin volver a recurrir a ideas intuitivas o modelos híbridos). Respecto de la visión, en cambio, si bien durante la implementación de la enseñanza hay momentos donde la idea de la ciencia escolar logra usarse con alta frecuencia, nunca ésta es significativamente mayor que la frecuencia con que se usan las ideas más incompletas que implican reconocer la necesidad de que la luz ingrese al ojo pero desconocer la formación de una imagen retiniana como proceso fundamental. Y, cuando transcurre el tiempo, disminuye la frecuencia con que se usan esas ideas de la ciencia.

6. Conclusiones

Con este trabajo intentamos otorgar datos concretos que, sumados a los hallados en instancias previas, nos permitan concluir cada vez con mayor rigor y fundamento acerca de qué y cómo aprenden ciencias los alumnos de nivel secundario cuando se guía su aprendizaje con una propuesta didáctica diseñada para favorecer un cambio conceptual, ontológico y epistemológico.

El aporte más innovador de este trabajo radica en el estudio de los cambios que suceden en los modos de conocer de los estudiantes conforme experimentan el aprendizaje del saber de la ciencia (intentando reducir la investigación al análisis de las “instantáneas” pre – post enseñanza)

Al realizar dicho estudio hallamos que el aprendizaje implicó cambios paulatinos en el modo de explicar los fenómenos y que la construcción de los modelos de la ciencia fue lenta e implicó frecuentes retrocesos. Observamos también que en todos los momentos de análisis las ideas intuitivas o modelos híbridos parecen competir en la mente de los alumnos con aquellas coherentes con las de la ciencia que van construyendo. Y esa “competencia” se observa no sólo por el hecho de que en todo momento las ideas no científicas siguen siendo usadas, con mayor o menor frecuencia, sino también por la baja consistencia con que se usan las nuevas ideas sobre todo en las instancias de desarrollo y aplicación.

Este hecho deja de manifiesto no sólo que durante el aprendizaje no se “abandonan” las ideas más intuitivas (y por lo tanto refuerza la propuesta de no buscar con la enseñanza la sustitución de representaciones) sino también que la dificultad que presenta para los alumnos dicho aprendizaje no sólo se refiere a la construcción de los modelos propuestos por la ciencia sino también al desarrollo de la habilidad de gestionarlos y aplicarlos con consistencia. Y si bien este hecho se reconoció al diseñar la enseñanza (y por ello fueron incluidas múltiples instancia de metacognición y aplicación

de nuevas ideas), los datos revelan que es necesario otorgarle aún más instancias y tiempo para que los alumnos desarrollen esta habilidad.

Implicaciones

Los datos hallados revelan que la metodología de enseñanza diseñada ha ayudado eficazmente a los estudiantes a construir un saber coherente con el que propone la ciencia para explicar los fenómenos ópticos analizados. Desde esta perspectiva, podemos concluir que favorecería eficazmente dicho aprendizaje el haber otorgado a los alumnos momentos especialmente diseñados para explicitar sus concepciones (en un intento de que sean consciente de lo que piensan); “enfrentarse” al saber de la ciencia (de forma teórica y experimental); aplicar sus conocimientos en múltiples contextos y reflexionar sobre las ideas que han construido y, al compararlas con las iniciales, reconocer qué han aprendido.

A su vez, habría ayudado a que los alumnos pasen de conceptualizar el fenómeno en términos intuitivos a conceptualizarlos en términos de la ciencia, el abordaje gradual y paulatino que se realizó de sus modelos. Dicho abordaje implicó partir de aquellos modelos cuyo aprendizaje conlleva la ampliación del saber inicial (en este caso los que permiten interpretar la interacción luz – objetos); abordar luego aquellos cuya interpretación requiere un cambio más radical del modo de conocer (en este caso los relativos a la interacción luz – sistema visual) para finalmente integrarlos en un único, multivariado y sistémico modelo (que permita explicar un fenómeno complejo como lo es la visión).

Pero los datos hallados también revelan la gran complejidad que implica para los alumnos construir estos modelos y, más aún, aprender a gestionarlos con conciencia y coherencia argumentativa. Esto porque, y tal como lo propone Vosniadou (2012), el cambio conceptual es un proceso lento, no sólo porque se trata de construir una compleja red de interrelación de conceptos sino también porque requiere la construcción de nuevas representaciones que implican cambios radicales en la ontología y la epistemología.

Lo dicho nos obliga a reconocer que una única propuesta como la presentada aquí, difícilmente conducirá a que los estudiantes cambien radicalmente sus modos de conocer. Pero los resultados obtenidos también muestran que dichos cambios son posibles, ya que los alumnos, aún con el paso del tiempo, tienden a usar modelos coherentes con los de la ciencia para explicar los fenómenos (aunque no sean los más completos y sistémicos y con la consistencia deseada). Por ello estamos convencidas que si en la educación científica obligatoria se abordan recurrentemente núcleos conceptuales que requieren de un cambio conceptual y ontológico de modo de conocer, y se lo hace con una metodología de enseñanza como la aquí descrita y evaluada, se favorecerán los aprendizajes deseados y se contribuirá definitivamente a la tan ansiada alfabetización científica de nuestros jóvenes.

Referencias bibliográficas

Bravo, B. (2008). *La enseñanza y el aprendizaje de la visión y el color en educación secundaria*. Madrid: 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), 337-362. Recuperado de <http://www.if.ufrgs.br/ienci>.

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*, 14(2), 299-317. Recuperado de <http://www.if.ufrgs.br/ienci>.

Bravo, B., Pesa, M. y Pozo, J. I. (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 Pozo, J. I. (2012). La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. un estudio sobre "qué, cuándo y cuánto" aprenden los alumnos acerca de la visión. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 87-110.

Bravo, B., Pesa, M. y Rocha, A. (2012). Implicancias de la enseñanza sobre el saber de los alumnos. El aprendizaje de fenómenos ópticos. Primera parte. *Investigações em Ensino de Ciências*, 16(3), 489-507. Recuperado de <http://www.if.ufrgs.br/ienci>.

Bravo, B., Pesa, M. y Rocha, A. (2013), Implicancias de la enseñanza sobre el saber de los alumnos. El aprendizaje de fenómenos ópticos. Segunda parte. *Revista Electronica de Investigacion en Educacion en Ciencias*, 8(1), 62-76. Recuperado de <http://reiec.sites.exa.unicen.edu.ar/>.

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). Recuperado de <http://www.if.ufrgs.br/ienci>.

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*, 7(3), 582-596. Recuperado de <http://www.saum.uvigo.es/reec>.

Chi, M. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery science. En R. N. Giere (Ed.), *Cognitive models of science* (pp. 129-186). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.

Chi, M. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. En S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of research on conceptual change* (pp. 61-82). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

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

Galili, I. y 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. y 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*, 1-6.

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*. Tesis Doctoral. Recuperado de 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 Nicolson PRSA.

Karmiloff-Smith, A. (1992). *Más allá de la modularidad*. Madrid: Alianza Editorial.

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*. Tesis doctoral. Valencia: Universidad de Valencia.

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), 128–136.

Pesa, M., Cudmani, L. y 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. y Gómez Crespo, M. (1998). *Aprender y enseñar ciencias. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Ed. Morata SL.

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

Salinas, J. y 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.

Thomas, G. (2012). Metacognition in Science Education: Past, Present and Future Considerations. En B. Fraser, K. Tobin y C. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education (Volumen 1)* (pp 131-144). London: Springer

Viennot, L. (2002). *Razonar en física. La contribución del sentido común*. Madrid: A. Machado libros, SA.

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. (2012). Reframing the Classical Approach to Conceptual Change: Preconceptions, Misconceptions and Synthetic Models. En B. Fraser, K. Tobin y C. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education (Volumen 1)* (pp 119-130). London: Springer

Anexo 1

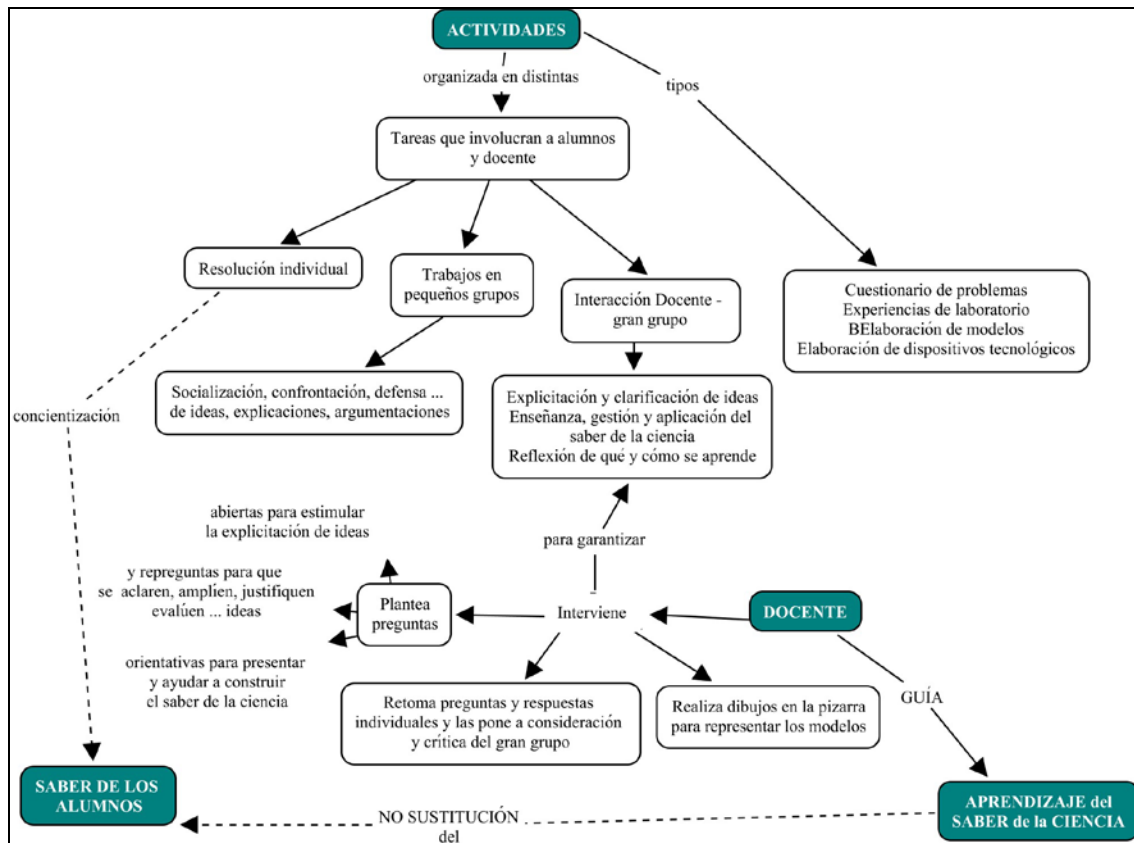
La propuesta de enseñanza diseñada se estructura a través de un eje transversal relacionado con el entorno tecnológico: el diseño y fabricación de un proyector de diapositivas de bajo costo comparativo. Se intenta de esta forma no sólo motivar a los estudiantes a aprender el saber científico, sino también 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 alumnos a profundizar los principios básicos del funcionamiento de los elementos ópticos como así también a elegir y justificar qué lente utilizar para construir el proyector, qué características deberá tener la superficie donde se proyecten las diapositivas y dónde se debería ubicar el proyector para que todos los alumnos de un curso vean lo que se proyecta.

La enseñanza se estructuró alrededor de cuatro instancias didácticas: iniciación, desarrollo, aplicación y síntesis - conclusión (Bravo, 2008), las cuales se sintetizan en la tabla adjunta con los objetivos de las distintas etapas de enseñanza:

	Iniciación	Desarrollo	Aplicación	Síntesis
objetivos	Ayudar a los alumnos a reconocer qué piensan y cómo explican el fenómeno cuyo estudio se comienza a abordar, intentado así que lleguen a analizar y reflexionar acerca de cómo conocen y cuáles son las características primordiales de sus modos de conocer (relacionadas por ejemplo con sus contextos de usos y sus limitaciones explicativas)	Realizar el abordaje formal del saber de la ciencia escolar	Seguir favoreciendo el reconocimiento de que el saber inicial y el que se está construyendo constituyen dos formas distintas de conocer, para así potenciar el desarrollo de la habilidad de hacer uso consistente y coherente del conocimiento construido, para elaborar explicaciones y argumentaciones coherentes con las de la ciencia	Involucrar a los estudiantes en un proceso de explicitación de lo que aprendieron, de cuáles fueron los cambios en sus puntos de vista, de cuáles son las características del saber construido, de qué cosas faltan aún por aprender.

El saber de las ciencias escolar analizado con la propuesta implica explicar que para ver, la luz reflejada por los objetos debe incidir y estimular el sistema visual del observador, siendo la formación de la imagen real retiniana uno de los procesos fundamentales de dicha estimulación.

Para abordar este saber se diseñaron diversas actividades (a ser realizadas por alumnos y docente) cuyas características y dinámica de resolución se sintetizan en la figura adjunta.



Anexo 2

Se presentan aquí, y a modo de ejemplo, algunas de las problemáticas involucradas en los cuestionarios utilizados en las distintas instancias de análisis.

Pretest

a) ¿Explica cómo es que puedes ver la hoja donde están escritas estas preguntas? Representa tu respuesta con un dibujo (indica todas las líneas o rayos que consideres necesarios).

b) Manuel, un joven muy curioso, se cuestiona acerca de "por qué si mi papá se tapa los ojos con las manos ya no podrá ver el diario" ¿Podrías explicárselo?

Instancia didáctica de iniciación

Observa los siguientes dibujos y explica cómo y por el primer niño ve el paquete; el segundo niño ve la linterna. Representa tu respuesta con un dibujo.



Instancia didáctica de aplicación

a) Explica por qué no podemos ver los objetos que se halla detrás de nosotros. Representa tu respuesta con un dibujo.

b) Explica por qué vemos a través de un nylon pero no de un cartón. Representa tu respuesta con un dibujo.

Instancia didáctica de síntesis-conclusión.

Te propongo ahora que releas las respuestas que diste a la actividad ¿Cómo y por qué vemos como vemos? (actividad de iniciación).

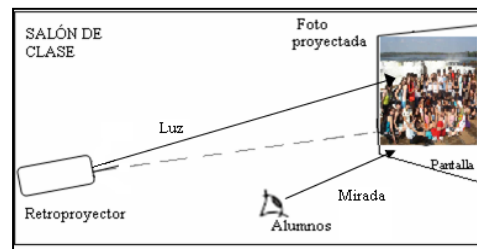
a) En función de lo que has aprendido hasta aquí decide si las modificaría o implicaría. De ser así da aquí tus nuevas respuestas.

b) Comparando tus ideas iniciales y actuales expresa qué has aprendido y qué falta por aprender.

Postest

a) ¿Por qué ves el lápiz con el que estás escribiendo? Representa tu respuesta con un dibujo (indica todas las líneas o rayos que consideres necesarios).

b) Un compañero, que no ha estudiado mucho de Ciencias, realiza el siguiente dibujo para explicar cómo y por qué ustedes ven la foto proyectada por el Profesor. En base a tus ideas explica por qué esta representación está equivocada y realiza un nuevo esquema que explique la situación



Demora

a) Si colocaras esta hoja dentro de un folio podrías seguir viéndola: ¿por qué? Representa tu respuesta con un dibujo (indica todas las líneas o rayos que consideres necesarios)

c) Las personas miopes no pueden ver con claridad los objetos lejanos porque sus ojos son más alargados que el ojo "normal" lo que produce que la imagen de los objetos que ven se formen en la zona indicada estimativamente en el dibujo con la línea punteada. ¿Cómo explicarías que por este hecho estas personas no vean bien? Representa tu respuesta con un dibujo indicando las líneas o rayos que creas necesarios.

