

LOS MODELOS DE LA CIENCIA PARA EXPLICAR LA VISIÓN Y EL COLOR: LAS COMPLEJIDADES ASOCIADAS A SU APRENDIZAJE

BRAVO, BETTINA¹; PESA, MARTA² y POZO, JUAN IGNACIO³

¹ Dpto. Cs. Básicas, Facultad de Ingeniería, Olavarría, Bs. As. Argentina.

² Departamento de Física. Tucumán. Argentina

³ Departamento de Psicología Básica. UAM. Campus de Cantoblanco. Madrid.

bbravo@fio.unicen.edu.ar

mpesa@rectorado.unt.edu.ar

nacho.pozo@uan.es

Resumen. Estudiamos las concepciones sobre la visión y la percepción del color de estudiantes que finalizan la Educación Secundaria Obligatoria y no Obligatoria (14-15 y 17-18 años de edad) y de futuros profesores de Ciencias Naturales. Las respuestas que dieron a un test de respuestas múltiples elaborado en esta investigación se analizaron atendiendo al modelo explicativo que eligen con mayor probabilidad y a los principios ontológicos, conceptuales y epistemológicos (y modos de razonar asociados) que subyacen al modo de conocer compartido. En este estudio cuasi experimental se implementa un diseño factorial que permite estudiar la influencia del nivel educativo y el contenido (variables independientes) sobre el tipo de concepción utilizada con mayor probabilidad (variable dependiente). Se halló que, si bien la tendencia al uso de ideas intuitivas disminuye conforme aumenta el nivel académico, estudiantes de secundaria y futuros docentes de dicho nivel terminan explicando los fenómenos perceptivos en términos esencialmente análogos: basándose en su conocimiento cotidiano. La instrucción tradicional, entonces, no potenciaría un cambio en el modo de conocer de los estudiantes desde uno intuitivo a otro coherente con el de la ciencia. Por ello, el artículo concluye proponiendo una estrategia didáctica dirigida a favorecer el aprendizaje de las ciencias, mediante un cambio ontológico, epistemológico y conceptual de la manera de interpretar y explicar los fenómenos. Se describen las características más relevantes de la metodología de enseñanza diseñada.

Palabras clave. Aprendizaje de la visión y visión del color, modos de conocer, cambio conceptual.

Science Models to Explain Sight and Colour: The Complexities Associated to Learning

Summary. The conceptions about sight and the perception of colour were studied in compulsory and non compulsory secondary school education with students in their last year of studies (14-15 and 17-18 years old). It was also done with potential natural science teachers. The exam consisted of multiple choice answers and the results were analysed taking into account the explicative model chosen with higher probability and the ontologic, conceptual and epistemic principles (and ways of reasoning associated) that underlie in the shared knowledge. In this practically semi-experimental study, a factorial design is implemented and this allows for the study of the influence of the educational level and content (independent variables) on the type of conception used with more probabilities (independent variable). It was found that although the tendency to use intuitive ideas diminishes as the academic level increases, both students and potential teachers end up explaining the perceptive phenomena in analogical terms: based on the everyday knowledge. So traditional teaching does not favour a change in the way knowledge is gained by students from intuitive to coherent knowledge with science. For this reason, this article concludes with the idea of presenting a didactic strategy that favours learning science through an ontological, epistemic and conceptual change in the way of interpreting and explaining these phenomena. The most relevant characteristics in the methodology of the designed teaching are described.

Keywords. Learning of sight and sight of colour, knowledge acquisition, conceptual change.

INTRODUCCIÓN

Numerosos trabajos de investigación han estudiado las ideas de los estudiantes de distintas edades respecto de la visión y la visión del color (por ejemplo, Anderson y Kärqvist, 1983; Feher y Meyer, 1992; Galili y Hazan, 2000; Osuna et al., 2007; Viennot, 2002; Viennot et al., 2005). La mayoría de ellos han puesto en evidencia que, aun después de la instrucción, 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 modos de conocer científicos.

Ante esta situación, es indispensable preguntarnos... ¿por qué los alumnos tienen dificultades para construir los modelos que la ciencia propone? ... ¿por qué prevalecen frecuentemente sus ideas intuitivas después de la instrucción?... ¿cuáles son las características más implícitas de dichas ideas intuitivas? ... ¿en qué se diferencian con las de la ciencia?... ¿por qué la educación formal tradicional no propicia cambios sobre el modo de conocer de los alumnos?

En este trabajo intentaremos hacer un aporte concreto respecto de cuáles son las características más implícitas de las ideas que comparten los alumnos de distintos niveles educativos en relación con la visión directa de un objeto y la percepción del color. Intentamos con ello ir «más allá» de la mera descripción de las ideas de los estudiantes para estudiar, conocer, inferir sus características subyacentes, más implícitas, convencidos de que éste es un primer paso indispensable para llegar a comprender cuáles son las complejidades implicadas en el aprendizaje del saber de las ciencias y, en relación con ello, qué estrategias de enseñanza propiciarían con mayor éxito su aprendizaje.

Respecto del saber intuitivo, hoy coexisten diferentes perspectivas teóricas que intentan interpretar su origen, naturaleza y características más implícitas (Carretero y Limón, 1997). Algunos estudios recientes, por ejemplo (Mihás y Panagiotis, 2005 y Dedes, 2005), proponen posibles analogías entre las ideas de los estudiantes y las pre-científicas que fueron construyéndose a lo largo de la historia en el seno de la comunidad científica.

La perspectiva teórica que nosotros adoptamos aquí, en tanto, 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 sólo con aspectos conceptuales (y con ello 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 estas maneras de conocer. Y serían justamente estos principios (que se describen en la 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 al momento de elaborar una explicación (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Pozo, 2001; Sandoval y Salinas, 1996; Viennot, 2002).

Así, 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 fotosensibles produciéndose complejas reacciones químicas mediante las cuales la energía lumínica se transforma en eléctrica, siendo transportada a través del sistema nervioso hacia el cerebro, donde mediante un procesamiento neurocognitivo de esa información se genera la representación de lo que vemos y del color que percibimos (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 «sólo 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 a esta idea en función de los principios conceptuales, ontológicos y epistemológicos de sistema, interacción y constructivismo.

A diferencia del conocimiento científico, el modo de conocer intuitivo, que se construye ante la experiencia fenomenológica y basándose en la información que llega a través de los sentidos (Hogarth, 2002), asume que el color es una propiedad de la materia y que para ver basta con abrir los ojos y mirar hacia el objeto (Bravo, Pesa y Colombo, 2001; Chauvent, 1993; Collins et al., 1998; Driver, Guesne y Tiberghien, 1989; Feher y Meyer, 1992; Galili y Hazan, 2000; Pesa, 1997; Pesa y Cudmani, 1998; Sandoval y Sa-

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

PRINCIPIOS	IDEAS INTUITIVAS	IDEAS CIENTÍFICAS
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 que la ciencia está conformada por modelos alternativos que periten 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

linas, 1996; Viennot, 2002, entre otros). Dado que sólo se reconocen parcialmente las variables de las que dependen los fenómenos y que no se asumen interacciones entre ellas, podemos describir este modo de conocer en términos de principios de estado, hecho o dato y realismo ingenuo.

Pero los resultados de trabajos exploratorios anteriores (Bravo y Rocha, 2004; Bravo y Rocha, 2006; Bravo y Pesa, 2005), nos alertaron de que estos modos de explicar los fenómenos perceptivos (coherente con el científico y netamente intuitivo) constituirían los extremos de un continuo que los estudiantes suelen transitar durante su aprendizaje escolar cuando éste está guiado por una propuesta didáctica especialmente 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 que (en concordancia con lo propuesto por Viennot, 2002 y Viennot et al., 2005) implique asumir que:

– «para que se produzca la visión directa de un objeto son necesarios los ojos, los objetos y la luz, como así también que se den 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 debe incidir en el ojo del observador. Dado que el ojo se comporta esencialmente como un sistema de lentes, produce la convergencia de la luz hacia la retina, zona donde se hallan las células fotorreceptoras. 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, produciéndose la sensación de visión».

– «cuando la luz blanca, compuesta por «luces de distintos colores», incide en un objeto, éste, debido a su naturaleza, absorberá luz con determinadas características y reflejará otras. Esa mezcla reflejada interacciona con el sistema visual del observador, lo que implica la estimulación de las células fotorreceptoras (conos) y la transformación de energía lumínica en pulsos eléctricos que serán transportados hacia el cerebro, lo que finalmente conducirá a la percepción de un único color (ya que el sistema visual no es capaz de discriminar entre las distintas radiaciones que conforman la mezcla de luces que en él inciden). Es por ello por lo que se considera el color como el resultado de un proceso que depende de interacciones complejas entre la luz, los objetos y el sistema visual.

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 permitieron delimitar **cuatro** maneras sustancialmente distintas de concebir la visión directa del objeto y el color (Bravo y Pesa, 2005). A estos cuatro *modos de conocer* los hemos descrito en la tabla 2, en función del modelo explicativo implicado, las características ontológicas, epistemológicas y conceptuales subyacentes y los modos de razonamiento asociados a su uso. Allí ejemplificamos de manera discriminada las distintas formas de explicar la visión y el color, porque entendemos que explicar desde un punto de vista científico cómo y por qué percibimos objetos de distintos colores requiere haber construido a priori un modelo coherente con el de la ciencia que permita explicar el proceso de visión directa de un objeto, por ser el fenómeno del color de naturaleza perceptiva. Pero este hecho no es necesariamente recíproco. Esto es, puede

Tabla 2

Categorías de respuestas: descripción y ejemplificación.

<p>Categoría I: Ideas intuitivas</p> <p>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 en función de información aportada directamente por los sentidos. Principio subyacente: Estado - Hecho o dato - Realismo ingenuo. Razonamiento reduccionista. Ejemplos: «Vemos los objetos porque los miramos», - «el color es una propiedad del cuerpo».</p>
<p>Categoría II: Ideas causales simples</p> <p>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 monoconceptual. Ejemplos: «Vemos porque la luz ilumina al objeto y lo miramos» - «el color es una propiedad del objeto que puede cambiar si cambia el color de la luz».</p>
<p>Categoría III: Ideas parcialmente adecuadas en el contexto de la ciencia escolar</p> <p>Caracterización de la concepción: Se reconoce la interacción luz - objeto (y con ello los procesos de absorción y reflexión difusa y selectiva) como <i>causa</i> 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 pluri conceptual no sistémico. Ejemplos: «La luz reflejada por los objetos es la que permite la visualización de los mismos. Para efectivizar la visión se debe mirar el objeto» - «el color depende exclusivamente de las características espectrales de la luz reflejada selectivamente por el objeto».</p>
<p>Categoría IV: Ideas de la ciencia escolar</p> <p>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 múltiples procesos en el sistema receptor que conducen a la percepción visual. Principio subyacente: Sistema - Interacción - Superación del realismo ingenuo. Razonamiento sistémico, pluri-variado, no reduccionista. Ejemplos: «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 y a la percepción del color».</p>

ocurrir (tal como lo observamos en Bravo y Pesa, 2005) que los alumnos logren explicar de manera coherente con los modelos de la ciencia escolar cómo y por qué vemos como vemos, pero que expliquen al color en términos intuitivos (asumiendo que es una propiedad del objeto) o usando modelos incompletos desde el punto de vista de la ciencia escolar (explicando, por ejemplo, que el color depende exclusivamente de las características espectrales de la luz reflejada por los objetos). Así, puede suceder que los estudiantes no utilicen un mismo modo de conocer para explicar uno y otro fenómeno, por lo que resulta sumamente relevante estudiar las concepciones que utilizan con mayor probabilidad en cada contexto, tal como se propone en este trabajo.

El modo de conocer involucrado en la categoría I es de naturaleza intuitiva, a partir del cual sólo se reconoce a los ojos como elemento indispensable y suficiente para ver, en tanto el color se reduce a ser una propiedad del objeto. 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 tanto se explica que el color puede cambiar si cambia la luz con que se lo ilumina.

A 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 y que el color depende exclusivamente de las características espectrales de dicha radiación reflejada (modelos éstos coherentes con los propuestos por la ciencia) 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 que *mínimamente* se espera construyan los alumnos de educación secundaria como consecuencia de la instrucción. 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 selectiva, 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, 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 el fenómeno. A su vez, los modos de razonamiento asociados se caracterizan por ser plurivariados, no reduccionistas y sistémicos.

Aprender acerca de la visión y la percepción del color conlleva 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 el realismo ingenuo, para llegar a relacionar las ideas intuitivas con las científicas, reconociéndolas

como distintas maneras de interpretar el mundo que nos rodea, en función de las cuales se pueden elaborar explicaciones con distintos niveles de complejidad y validez contextual. El paso de este modo de interpretar el mundo hacia otro más perspectivista implica un complejo cambio, ya que requiere una revisión gradual de los supuestos epistemológicos subyacentes al saber intuitivo y una reinterpretación de la experiencia previa (Vosniadou, 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 cambio de categorías ontológicas (como es el caso de la visión y el color) se debe a la dificultad de re-interpretar 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 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.

Pero... la educación que tradicionalmente se implementa en las aulas de ciencia, ¿tiene en cuenta la complejidad que conlleva para los alumnos aprender el modo de conocer que ella propone?, ¿atiende a las diferencias ontológicas, epistemológicas y conceptuales que subyacen al modo de conocer de los estudiantes y al que se pretende que construyan con la instrucción?, ¿promueve un cambio sustancial en el modo de conocer de los estudiantes que signifique pasar de concebir los fenómenos en términos de estados, causalidades lineales simples a concebirlos como complejos sistemas de interacciones?

En este trabajo se utilizan los modelos explicativos que se derivan del marco teórico expuesto, al objeto de analizar el modo de conocer que comparten alumnos de distintas edades y niveles de escolarización y, especialmente, cómo influye en ello la enseñanza tradicional de la ciencia.

OBJETIVOS

- Caracterizar el conocimiento acerca de la visión y la percepción del color de alumnos de 14 -15 años de edad (que en Argentina finalizan la Educación Secundaria Obligatoria), alumnos de 17 - 18 años (que finalizan la Educación Secundaria no Obligatoria) y futuros profesores de Ciencias Naturales (con especialidad en Biolo-

gía). Dicha caracterización implica estudiar si los sujetos participantes reconocen las variables (luz - objeto - sistema visual) e interacciones fundamentales (absorción y reflexión selectiva, percepción) a las que se debe atender en el momento de elaborar una explicación científica respecto del fenómeno perceptivo analizado.

– Comparar el modo de conocer que estudiantes con distintos niveles de escolarización utilizan para explicar los fenómenos de visión y percepción del color.

METODOLOGÍA Y PARTICIPANTES

Se trabajó con un total de 380 alumnos de diferentes niveles educativos: Educación Secundaria Obligatoria, Educación Secundaria no Obligatoria y profesorado en Ciencias Naturales. Respecto de los alumnos de Educación Secundaria, se trabajó con instituciones de gestión privada de la ciudad de Olavarría (Buenos Aires - Argentina) de la zona urbana. Se escogieron al azar cuatro (de los ocho) colegios de Educación Secundaria Obligatoria y tres (de los cinco) de Educación Secundaria no Obligatoria, con el fin de que la muestra resultase representativa. En cuanto a los Institutos de Formación Docente (donde se dicta la carrera de Profesorado en Ciencias Naturales), se trabajó con un total de nueve, todos pertenecientes a la provincia de Buenos Aires, los cuales se encuentran en un radio de aproximadamente 350 km de la ciudad de Olavarría, donde se lleva a cabo este trabajo. La elección de esta muestra también se realizó al azar. En cada institución se trabajó con los cursos completos del último año de los distintos niveles educativos estudiados, resultando un total de 134 alumnos de Educación Secundaria Obligatoria, 157 alumnos de Educación Secundaria no Obligatoria y 89 alumnos de Educación Superior.

Se decidió trabajar con estudiantes del último año a fin de asegurar que los contenidos mínimos propuestos por los correspondientes diseños curriculares, y con ellos los relacionados con los procesos de percepción visual, hayan sido abordados en clases de ciencia con estos alumnos (Diseño Curricular de la Provincia de Buenos Aires, Inicial - EGB, 1999; Diseño Curricular de la Provincia de Buenos Aires, Polimodal, 1999; Diseño Curricular de la Provincia de Buenos Aires, Educación Superior, 1999).

TAREAS Y PROCEDIMIENTOS

Para obtener los datos que permitieran cumplir con los objetivos propuestos en este estudio, se utilizó un test de respuesta múltiple diseñado en el marco de esta investigación y validado en un estudio preliminar (ver Bravo, Pesa y Pozo, 2005). En las problemáticas planteadas se cuestiona a los alumnos de manera directa acerca de cómo vemos y cómo y por qué percibimos objetos de distintos colores o se les presenta el fenómeno del color y el de la visión contextualizado en distintas situaciones problemáticas cotidianas, a fin de que apliquen su saber en distintos

contextos y no sólo se enfrenten a tareas que requieran la «declaración» de una concepción.

Cada problema propuesto consta de cuatro opciones de respuestas entre las que los estudiantes debieron elegir a fin de explicar la situación planteada. Dichas opciones fueron elaboradas sobre la base de datos obtenidos en trabajos de investigación previos (Bravo y Rocha, 2004; Bravo y Rocha, 2006; Bravo y Pesa, 2005) donde se emplearon cuestionarios de explicación abierta. Así, las distintas opciones de respuestas contemplan las principales alternativas allí encontradas, además de la idea de la ciencia escolar antes descrita.

En cada opción de respuesta subyace uno de los modos de interpretar, concebir y explicar los fenómenos de visión y percepción del color que fueron descritos en la tabla 2.

En el anexo se presentan las problemáticas planteadas en el instrumento utilizado. A fin de facilitar la asociación respuesta-categoría, se indica entre paréntesis y en números romanos la categoría a la que pertenece cada opción de respuesta.

DISEÑO DEL ESTUDIO

El presente es un estudio cuasi experimental, basado en un diseño factorial que permite estudiar la influencia (e interrelación) de las variables independientes sobre las dependientes. Se establecen como variables independientes: nivel de escolarización, el contenido (visión y color) y la categoría de respuesta utilizada. La variable dependiente, que representa la manera en que los estudiantes explican los fenómenos perceptivos, viene dada por la probabilidad con que se usan las distintas concepciones (intuitivas, escolarizadas o coherentes con las de la ciencia).

Siguiendo con el análisis de datos propuesto por Gómez Crespo, Pozo y Sanz (1995) a partir de Nesher y Sukenik (1991) (ver también; Gómez Crespo y Pozo, 2004; Pozo, Gómez Crespo y Sanz, 1999), realizamos en cada caso análisis de varianza (ANOVA) sobre los resultados obtenidos en los distintos grupos respecto de la probabilidad media con que se usan las distintas concepciones (subyacentes a las cuatro categorías de respuestas previamente definidas) en cada contenido (visión y percepción del color). Dichos valores se transforman 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 análisis de varianza realizado sobre un diseño factorial $3 \times 2 \times 4$ (tres grupos, dos contenidos, cuatro categorías de respuestas) permite evaluar si el tipo de concepción utilizada por los estudiantes depende del nivel de escolarización y/o del tipo de fenómeno a explicar. Para detectar la naturaleza de dichas influencias se realizaron análisis post-hoc mediante el test comparativo de Duncan. Realizamos también un análisis intragrupo, que permite el estudio de la influencia de la variable categoría sobre la probabilidad con que son usadas las distintas concepciones.

RESULTADOS

En los gráficos 1 y 2 se presentan las probabilidades medias con que cada grupo utilizó las concepciones subyacentes a las distintas categorías de respuestas para explicar la visión y la visión del color respectivamente.

Gráfico 1

Probabilidad media con que los alumnos de los distintos grupos usan las diferentes concepciones para explicar el proceso de visión.

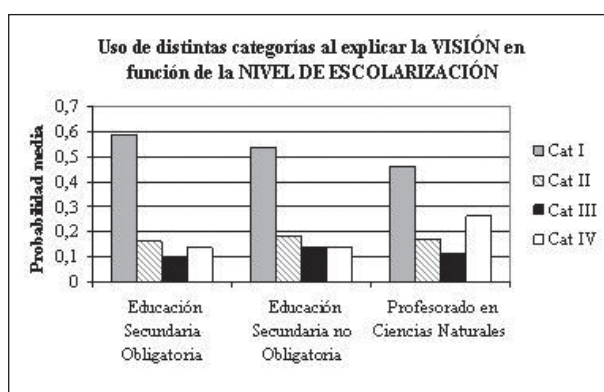
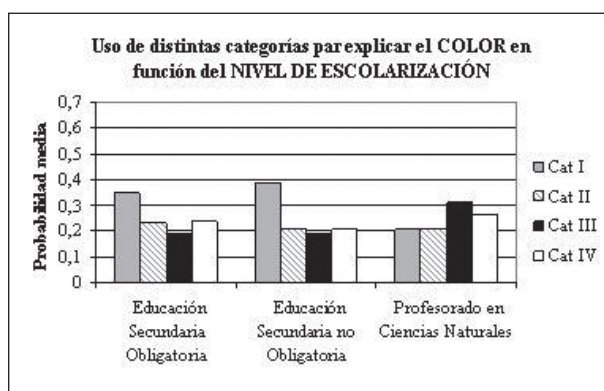


Gráfico 2

Probabilidad media con que los alumnos de los distintos grupos usan las diferentes concepciones para explicar el color.



La interacción *grupo x categoría* resultó estadísticamente significativa en ambos contenidos ($F(1468;6) = 6,33$, $p < 0,0001$ para visión; $F(1523;6) = 10,14$, $p < 0,0001$ para color) lo que implica que existen diferencias en la manera en que los grupos explicaron los fenómenos. En tal sentido, para ambos contenidos el test comparativo de Duncan indicó que los futuros profesores utilizaron con una probabilidad estadísticamente mayor ($p < 0,01$) que los alumnos de secundaria las ideas de la ciencia (categoría IV en el caso de visión y III y IV para el color) y con una probabilidad estadísticamente menor que aquellos las ideas intuitivas ($p < 0,05$). Asimismo, dicho test

post-hoc reveló que no existen diferencias significativas en la manera en que los dos grupos de secundaria explican la visión y la visión del color.

A su vez, al realizarse un análisis *intragrupo* se halló que en los dos grupos de alumnos de educación secundaria la categoría I se usó con una probabilidad estadísticamente mayor que las demás ($p < 0,01$). Esto significa que los estudiantes (pese a los nueve y doce años de instrucción formal) conciben los fenómenos en términos de un modo de conocer cotidiano, construido en base al sentido común y la experiencia diaria, más que como producto de una educación científica formal. Así, asumen que «vemos porque tenemos ojos y miramos hacia el objeto a ver» y que «el color es una propiedad inherente al objeto».

Al hacer un análisis *intragrupo* en el grupo de futuros profesores, se halló que en lo que respecta al proceso de visión (y pese a las diferencias enunciadas) la categoría I fue la utilizada con mayor probabilidad que los demás. En relación con el color, si bien la mayor probabilidad se observó en relación con el uso de la categoría III, los resultados del test de Duncan revelaron que dicha probabilidad no se diferencia estadísticamente de la probabilidad con que se usaron las ideas intuitiva (I y II) y las de la ciencia (IV).

Así, la probabilidad de que los futuros profesores expliquen que el color es una propiedad de la materia (categoría I) no difirió de la probabilidad de que expliquen que el color depende exclusivamente de las características de la luz que ilumina los objetos (categoría II), ni de la probabilidad de que expliquen que el color es una percepción visual producto de múltiples y complejos procesos que se producen entre la luz, los objetos y el sistema visual (categoría IV). Pero, a su vez, el uso que hicieron de estas últimas concepciones (subyacentes a las categorías II y IV) no difirió de la probabilidad con que usaron la incluida en la categoría III.

Intentando interpretar el modo de conocer compartido por estos estudiantes, realizamos un análisis más minucioso de la situación hallada y observamos que la inconsistencia con que usan los distintos modelos estaría ligada a un aspecto «contextual». Esto es, en función de la demanda del problema o tipo de fenómeno a explicar, los estudiantes activan sin distinción aparente uno u otro modo de interpretar el proceso de percepción del color.

Para llegar a esta conclusión hemos analizado en qué medida depende la concepción utilizada por los estudiantes del tipo de problemática a la que se enfrenten a lo largo del test. En la tabla 3 presentamos (en porcentajes) cómo se distribuyeron las respuestas dadas por los estudiantes en cada categoría y para cada problemática planteada.

Se puede observar que cuando se cuestiona a los futuros profesores directamente acerca de *por qué vemos un objeto de determinado color* (P1), el mayor porcentaje de las respuestas se agrupa en la categoría IV, lo que implica que utilizan sin aparente dificultad la idea de la ciencia. Pero cuando la problemática ya no requiere «declarar» el modelo compartido acerca de por qué se perciben obje-

Tabla 3

Porcentaje de respuestas que se agrupan en las distintas categorías en cada una de las problemáticas relativas al fenómeno del color.

CONCEPCIONES VS. PROBLEMÁTICAS		% DE RESPUESTAS AGRUPADAS EN LAS DISTINTAS CATEGORÍAS			
		I	II	III	IV
PROBLEMÁTICA	P1	8	8	36	48
	P2	36	7	36	21
	P3	33	32	35	0
	P4	8	40	17	35

tos de distintos colores, sino que requiere aplicarlo para explicar o predecir situaciones diversas, la posibilidad de elegir la idea de la ciencia no es tan marcada. Así, en la segunda problemática (P2), que implica explicar *el cambio de percepción debido a la mezcla de pigmento*, las categorías I y III están representadas por idénticos porcentajes de respuestas. La primera involucra una concepción netamente intuitiva, a partir de la cual se concibe que el color es una propiedad del objeto. La idea subyacente a la categoría III en tanto implica concebir que el color es «algo que está o sucede fuera del observador», producto de la interacción entre la luz y los objetos. El observador, entre tanto, y con él su sistema visual, cumple un rol pasivo: mirar lo que ocurre en el entorno que lo rodea. Hay que hacer notar el hecho de que entre las opciones propuestas para responder a esta problemática está la de la ciencia, por lo que los alumnos si realmente la comparten podrían haberla elegido también en este contexto. Sin embargo, un porcentaje muy bajo de las respuestas que dieron se distribuyen en la categoría IV. Un caso similar ocurre en lo que respecta a la tercera problemática (P3), donde se les solicita que predigan justificadamente *de qué color se verá un objeto cuando se cambia la radiación incidente, y deja ser la blanca*, como normalmente se utiliza. Hallamos que prácticamente no hay diferencias en el porcentaje de respuestas que se agrupan en las categorías I, II y III.

Finalmente, en la última problemática (P4) donde explícitamente se guía la atención hacia la importancia del sistema visual en el proceso de percepción del color (al analizarse el tema del *daltonismo*), los estudiantes logran volver a utilizar la idea de la ciencia. Pero la eligen en igual porcentaje que la concepción subyacente a la categoría II.

Se puede observar, por lo tanto, que hay una clara influencia del tipo de problemática planteada sobre las concepciones que utilizan los futuros docentes, hecho éste que explicaría que las distintas ideas fueron utilizadas en el grupo con probabilidades muy similares. Así, si se les pregunta directamente acerca de por qué percibimos los objetos de determinado color o se les hace reflexionar explícitamente sobre el rol del sistema visual en este proceso de percepción, eligen con considerable probabilidad la idea de la ciencia. Pero cuando se contextualiza dicho fenómeno en otra situación, don-

de la tarea no implica declarar un modelo sino aplicarlo para explicar o predecir dicha situación, ya no es tan marcada esta probabilidad, y se observa que utilizan de manera análoga ideas intuitivas y coherentes con la de la ciencia, pero sin otorgarle por lo general al sistema visual un rol activo. Lo dicho nos permite asumir que habría una importante «rivalidad» entre las concepciones intuitivas y científicas, que ponen en juego los futuros docentes en el momento de explicar el fenómeno del color.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Según estos resultados, la enseñanza tradicionalmente impartida en los distintos niveles educativos no potenciaría un cambio en el modo de conocer de los estudiantes, desde uno más intuitivo a otro coherente con el de la ciencia, ya que, si bien conforme aumenta la edad y el nivel de instrucción disminuye la probabilidad con que son usadas las ideas cotidianas y aumenta la probabilidad con que se utilizan las coherentes con las de la ciencia, se observa que al finalizar la educación (e independientemente del nivel educativo) los alumnos utilizan un modo de conocer más coherente con el intuitivo que con el de la ciencia que se esperaba construyeran.

Así, en relación con la visión, tanto los estudiantes de secundaria como los de educación superior, usan ideas netamente intuitivas (que hemos caracterizado por principios de estados, hecho o dato y realismo ingenuo) que los lleva a asumir que para ver es suficiente con que el observador mire el objeto.

En lo que respecta al fenómeno del color, mientras que los alumnos de educación secundaria lo explican en términos de ideas intuitivas, los futuros profesores parecerían tender a explicarlo en términos de ideas más próximas a las de la ciencia (más del 50% de las respuestas se agrupan entre las categorías III y IV). Sin embargo, los resultados muestran la baja consistencia con que se usan estos modelos y la alta influencia contextual a la hora de seleccionar la respuesta a los problemas planteados (característica ésta más coherente con un saber intuitivo que con uno científico).

Una de las razones por las que los estudiantes, pese a la instrucción, siguen concibiendo los fenómenos perceptivos desde un modo de conocer cotidiano, podría relacionarse con la manera en que tradicionalmente se abordan en clase de ciencias los modelos que ella propone al respecto. En tal sentido, quizá el aspecto más significativo que permite interpretar este hecho es que desde la enseñanza tradicional no se suele propiciar un estudio recurrente (Belendez, Pascual y Rosado, 1998; Selley, 1996) e interdisciplinario (Galili y Hazan, 2000) de dichos modelos.

Respecto al primer aspecto, frecuentemente desde la educación tradicional se suele considerar «enseñado» un tema porque se les transmitió a los estudiantes un modelo coherente con el científico para explicarlo. Y entonces, una vez abordado el mismo, no se suele retomar su estudio aumentando gradualmente su complejidad, propiciando instancias para que los alumnos lo interpreten, reconozcan su poder explicativo, lo comparen con su saber inicial, lo utilicen en múltiples contextos y situaciones problemáticas. En la tabla 1 hemos analizado la brecha ontológica, epistemológica y conceptual que separa al saber intuitivo (generalmente compartido por los estudiantes antes de la instrucción) y el de la ciencia (que se pretende enseñar), por lo que consideramos imprescindible otorgar a los alumnos múltiples instancias y tiempo para que puedan experimentar un verdadero cambio en su modo de conocer. Pero al no darse este abordaje recurrente (en cada proceso de enseñanza y conforme avanza en los distintos niveles educativos), lo más probable es que el alumno (en el «mejor de los casos») memorice el modelo propuesto por el docente y hasta quizá llegue a ser capaz de «declararlo» en instancias de evaluación temporalmente cercanas a su presentación en clases de ciencia, pero lo más probable también es que, con el paso del tiempo, recurra a sus sólidas y «originales» ideas intuitivas.

Por otra parte, el hecho de que no se suelen estudiar en forma interdisciplinaria los fenómenos de visión y percepción del color conduce a que no se aborden de forma sistémica e integral los modelos propuestos por la ciencia para explicarlos. En tal sentido, lo más asiduo es que se realice un abordaje disciplinar desde una óptica netamente biológica o netamente física. Desde la primera perspectiva, se suele atender principalmente (y muchas veces, exclusivamente) al funcionamiento y fisiología del sistema visual para explicar la visión de un objeto y la percepción de un color (visión cromática), sin atenderse (o atendiendo sólo 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 produzcan los fenómenos perceptivos. Mientras tanto, 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 ocupan (y si lo hacen es a partir de una sintética descripción) de la importancia del sistema visual en los procesos perceptivos, sin cuya función tampoco los mismos se llevarían a cabo (Galili y Hazan, 2000; Pesa y Cudmani, 1993; Sandoval y Salinas, 1996; Viennot, Chauvet, Colin y Rebmann, 2005).

Este tipo de abordaje, entonces, tampoco 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.

El propio diseño curricular propuesto para los distintos niveles educativos parece apoyar este abordaje no recurrente y disciplinar (Diseño Curricular de la Provincia de Buenos Aires. Marco General, 1999; Inicial - EGB, 1999; Polimodal, 1999; Educación Superior, 1999). El análisis que en ellos se propone respecto de la temática relativa al proceso de visión quizá deja más en evidencia el hecho de que no se estimula un estudio longitudinal y recurrente, donde se expliciten vínculos y relaciones conceptuales entre modelos explicativos y se otorgue el tiempo necesario para que los alumnos experimenten el arduo proceso que implica su construcción. En tal sentido, el estudio del sistema visual sólo se prescribe explícitamente para la Educación Primaria. En este nivel, la educación en ciencia permite principalmente un abordaje descriptivo de los fenómenos naturales, pero no un estudio sistémico de los complejos y abstractos modelos que el saber científico propone. Por ello, lamentablemente, no debería llamar la atención que, pasado el tiempo, esto es, al finalizar la Educación Secundaria Obligatoria, la no Obligatoria y/o la Superior, los estudiantes recurran a ideas netamente intuitivas para explicar cómo vemos y por qué vemos como vemos.

A su vez, la temática relativa al fenómeno del color es la que más en evidencia deja el hecho de que tampoco se promueve en los diseños curriculares un abordaje interdisciplinario de los modelos que la ciencia propone al respecto. En tal sentido, a veces implícitamente y otras de manera explícita, en los mencionados documentos se propone el estudio del color en relación con las características espectrales de la luz y con los fenómenos de reflexión, absorción y transmisión selectiva, sin hacer explícita alusión a la necesidad de estudiar en forma interrelacionada el sistema visual. Los libros de texto que los docentes utilizan con mayor acuidad, para seleccionar y secuenciar los contenidos que abordarán en sus clases y la manera en que lo harán, proponen este tipo de abordaje disciplinar (para Educación Secundaria Obligatoria y no Obligatoria) atendiendo prácticamente de manera exclusiva a los fenómenos que se producen «fuera del observador», al interaccionar la luz con los objetos, pero no se atiende al rol del sistema visual en el proceso de percepción del color (véase, por ejemplo, Hurrell et al., 1990, que es otro de los libros muy utilizados por los docentes de Educación Secundaria).

Por esta razón, tampoco debiera llamar la atención que los estudiantes, al finalizar los distintos niveles educativos, expliquen este fenómeno desde un saber intuitivo (dado que la manera en que se lo aborda dudosamente pueda propiciar un cambio radical en su modo de conocer) o bien a partir de un modelo incompleto desde el cual no se llegue a concebir el color como un proceso de percepción visual.

Pero más allá de las causas, los datos obtenidos nos alertaron sobre la existencia de las dificultades que presentan los estudiantes respecto al aprendizaje de los fenómenos perceptivos.

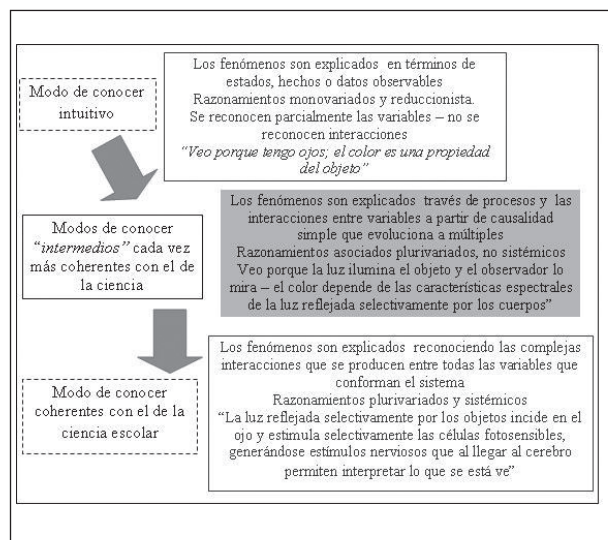
IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

Ante la situación descrita y basándonos en lo que entendemos aquí por aprender el modo de conocer de la ciencia, hemos elaborado una propuesta didáctica tendente a potenciar el aprendizaje de los fenómenos perceptivos en Educación Secundaria, con el fin de favorecer un cambio gradual y paulatino (como el que se representa sintéticamente en la figura 1) del modo de conocer de los alumnos (dicha propuesta de enseñanza, que por cuestiones de espacio no pueden incluirse aquí, se describe minuciosamente en Bravo, Pesa y Pozo, 2008).

Así, se buscó propiciar la construcción de modos de conocer «intermedios» (Pozo y Gómez Crespo, 1998) entre el saber inicial y el de la ciencia, capaces de convertirse en sólidas y pertinentes bases conceptuales a partir de la cual se termine construyendo el saber de la ciencia escolar (análogo al descrito en la introducción de este trabajo).

Figura 1

El aprendizaje de las ciencias como cambio de modo de conocer.



Para propiciar dicho aprendizaje, la propuesta de enseñanza comenzó con el análisis detallado de las distintas variables que intervienen en los fenómenos (luz - objeto - sistema visual), su identificación y el reconocimiento de sus características. Posteriormente, se abordaron las interacciones «duales» que se producen entre dichas variables: luz - objetos (lo que conlleva el estudio de los procesos de absorción, transmisión y reflexión difusa y selectiva); luz - sistema visual (que implica estudiar los procesos físicos, químicos y biológicos que suceden «dentro» del observador y que conducen a la percepción). Finalmente se analizaron situaciones más complejas cuya interpretación y explicación requiere de la interconexión e interrelación de todas las variables y procesos que entre ellas ocurren.

A su vez, y dado que se concibe que aprender ciencia va más allá de comprender el modelo explicativo que ella propone, se implementaron instancias especialmente diseñadas tendentes a que los alumnos logren:

- Reconocer el conocimiento científico como un modo de conocer alternativo al suyo pero potencialmente útil para explicar diversas situaciones y que logren aprender a aplicarlo con consistencia y coherencia argumentativa. La importancia de esta instancia radica en que asumimos que el aprendizaje no implica sustitución de concepciones, y por tanto que coexistirán en la mente del estudiante sus ideas iniciales y las construidas con la instrucción (Pozo, 2001). Por lo tanto, los alumnos deben aprender a gestionar conscientemente y con criterio el modo de **conocer a utilizar** en función del contexto y la demanda del problema al que se enfrenten.

- Ser conscientes y reflexionar críticamente respecto del proceso de aprendizaje experimentado a lo largo de toda la instrucción y de lo que implica aprender ciencias. Esta instancia es crucial porque, como dice Bachelard (1985), «no hay ciencia sino mediante una escuela permanente», por lo que resulta especialmente importante favorecer con la instrucción que el alumno adquiera actitudes críticas sobre el propio proceso de aprendizaje, reconociendo qué aprendió y cómo aprendió, a fin de clarificar aquellas herramientas que podrá seguir usando para seguir aprendiendo.

La evaluación del conocimiento de los alumnos (Bravo, 2008), antes y después de la instrucción (que por cuestiones de espacio no pueden presentarse aquí), nos permitió concluir que con este tipo de enseñanza es posible favorecer un cambio en su modo de conocer inicialmente compartido, que les permitan luego de concluida la enseñanza y aun con el paso del tiempo, explicar los fenómenos perceptivos en función de los modelos propuestos por la ciencia escolar. Este punto de la investigación será presentado en una próxima publicación.

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 edición. 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
- BRAVO, B. (2008). *La enseñanza y el aprendizaje de la visión y el color en educación secundaria*. Tesis doctoral inédita. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- BRAVO, B. y ROCHA, A. (2004). Aprendiendo sobre la luz y el color en Segundo Ciclo de Educación General Básica (EGB). *Journal of Science Education. Revista de Educación en Ciencias*. Colombia, 5(1), 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 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).
- BRAVO, B., PESA, M. y POZO, J.I. (2005). Concepciones acerca de la visión y el color. Diseño y evaluación de un test de respuestas múltiples. *Memorias de la REF XIV*. (Argentina).
- 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).
- BRAVO, S., PESA, M. y COLOMBO, E. (2001). Formación y actualización de maestros: una experiencia referida a la conceptualización de los fenómenos de la visión del color. *Revista de Enseñanza de la Física*, 14(1), pp. 5-17.
- CHAUVET, F. (1993). Teaching light, color and vision Proceeding of the conference. *International Conference on physics education*. Universidad do Minho. Portugal (16-21 jul 1993).
- CHI, M.T.H. (2002). Conceptual Change within and across Ontological Category, en Limón, M. y Mason, L. (eds.). *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Londres: Kluwer academic publishers.
- COLLINS, K.F., JONES, B.L., SPROD, T., WATSON, J.M. y FRASER, S.P. (1998). Mapping development in students' understanding of vision using a cognitive structural model. *International Journal of Science Education*, 20(1), pp. 45-66.
- DEDES (2005). «The mechanism of vision: Conceptual similarities between historical models and children's representations». *Science Education* 14, pp. 699-712.
- Diseño Curricular de la Provincia de Buenos Aires. *Marco General* (1999). Resolución 13298/99. Dirección general de Cultura y Educación - Consejo General de Cultura y Educación.
- Diseño Curricular de la Provincia de Buenos Aires. *Inicial - EGB Tomo I y II* (1999). Resoluciones 13169/99 y 13227/99. Dirección general de Cultura y Educación - Consejo General de Cultura y Educación.
- Diseño Curricular de la Provincia de Buenos Aires. *Polimodal* (1999). Modalidades. Dirección general de Cultura y Educación - Consejo General de Cultura y Educación.
- Diseño Curricular de la Provincia de Buenos Aires. *Educación Superior* (1999) Tomo II. Resolución N.º 13259/99. Dirección General de Cultura y Educación. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires.
- DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHEN (1989). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, España: Editorial Morata, S.A. - MET.
- FLAK, F., BRILL, D. y STORK, D. (1990). *Seeing the Light. Optics in nature, photography color, vision and holography*. NY Harper & Road Pub.
- FEHER, E. y MEYER, R. (1992). Children's conceptions of color. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(5), pp. 505-520.
- 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.
- 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.
- HOGARTH, R. (2002). *Educación la Intuición*. Barcelona - Buenos Aires: Ediciones Paidós Ibérica S.A. y SAICF.
- MIHAS, P. y PANAGIOTIS, A. (2005). «A historical approach to the teaching of the linear propagation of light, shadows and pinole cameras». *Science Education*, 14, pp. 675-697
- 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., CARRASCO 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. (1997). *Concepciones y preconcepciones referidas a la formación de imágenes*. Tesis doctoral. Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán.

- 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.
- PESA, M. y CUDMANI, L. (1998). ¿Qué ideas tienen los estudiantes respecto a la visión? 4.º *Símposio de Investigadores en Educación en Física*, pp. 311-321. (Argentina).
- 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.
- POZO, J.I., GÓMEZ, CRESPO, M.A. y SANZ, A. (1999). When conceptual change does not mean replacement: different representations for different contexts, en Schnotz, W., Vosniadou, S. y Carretero, M. (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.
- VILLANI, A. y PACCA, J. (1990). Spontaneous reasoning of graduate students. *International Journal of Science Education*, 76(2).
- VIENNOT, L. (2002). *Razonar en física. La contribución del sentido común*. Madrid: A. Machado libros, SA.
- 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.
- VOSNIADOU, S. y BREWER (1994). «Mental models of the day/night cycle», *Cognitive Science*, 18, pp. 123-183.

[Artículo recibido en junio de 2008 y aceptado en abril de 2009]

ANEXO

ACTIVIDAD: Nuestras Ideas

A continuación te presento una serie de problemáticas y cuatro respuestas posibles para cada una de ellas. Entre las opciones dadas, ELIGE SÓLO AQUELLA que te parece MÁS ADECUADA para dar como la EXPLICACIÓN a cada problema planteado.

1. Varios niños discuten acerca del contenido de un «regalo de cumpleaños». Como no logran abrirlo para ver qué tiene dentro, comienzan a proponer las siguientes justificaciones para explicar por qué no pueden ver el regalo.

- a. No vemos porque la luz proveniente de la fuente no es transmitida por la caja (porque es un cuerpo opaco) y si el objeto no está iluminado no es visible a nuestros ojos (I).
- b. No lo vemos porque no llega a nuestros ojos luz proveniente del regalo (ya que la caja es opaca y no transmite luz); por lo tanto, no se producen en el sistema visual los procesos que conducen a la visión (IV).
- d. No vemos porque el cartón de la caja y el papel que la envuelve son cuerpos opacos y no se puede ver a través de ellos. Si estuviera envuelto con un cuerpo transparente (papel celofán por ejemplo), sí lo podríamos ver (III).
- d. No vemos porque los cuerpos opacos (en este caso la caja) no transmiten la luz que refleja el regalo, y es gracias a dicha luz por lo que podemos ver los distintos objetos (II).

2. ¿Por qué ves roja una manzana deliciosa cuando la iluminas con un foco común?

- a. Porque la manzana naturalmente es roja, además está iluminada y yo la miro (I).
- b. Porque de la luz que ilumina la manzana, ésta refleja la luz roja y eso permite que la vea de dicho color (III).
- c. Porque de todos los colores que tiene la luz blanca, la manzana es iluminada principalmente por la luz roja y entonces la veo de dicho color (II).
- d. Porque la manzana refleja principalmente luz roja, que al interactuar con mi sistema visual hace que la perciba roja (IV).

3. Si colocaras esta hoja dentro de un folio, podrías seguir viéndola: ¿por qué?

- a. El folio, al ser un cuerpo transparente, deja pasar la luz proveniente de la fuente y entonces la hoja permanece iluminada; por consiguiente, puedo seguir viéndola (II).
- b. A diferencia de los cuerpos opacos, podemos ver a través de los cuerpos transparentes. El folio es un cuerpo transparente, y por ello seguiré viendo la hoja aun cuando la coloque dentro de él (I).
- c. El folio transmite la luz, por lo que la radiación reflejada por la hoja puede llegar a mi sistema visual y desencadenar los múltiples procesos que hacen que pueda seguir viéndola (IV).
- d. Como el folio es un cuerpo transparente, transmite la luz «hacia y desde» lo que hay detrás de él, en este caso la hoja, y por eso puedo seguir viéndola (III).

4. Un pintor expresa su «arte» sobre un paño «blanco». Usando pintura roja, representa uno de los paisajes que más le ha gustado: el amanecer sobre el Río de la Plata. Para representar el alba mezcla témperas roja y amarilla. ¿Por qué al utilizar estas pinturas el Sol representado en su cuadro se ve naranja, al ser iluminado con un foco común?

- a. Porque al ser iluminadas por luz blanca, las témperas que han sido mezcladas absorben la mayoría de los colores y reflejan luz roja y amarilla, motivo por el cual el Sol aparece anaranjado en el cuadro (III).
- b. Porque las témperas (iluminadas con luz blanca) reflejan luz roja y amarilla y cuando éstas interactúan con el sistema visual del observador producen una sensación que lleva a percibir el Sol anaranjado (IV).
- c. Porque las témperas tienen pigmentos, en este caso de color amarillo y rojo, que tiñen el paño. La mezcla de esos colores forman el color anaranjado y por eso se ve el Sol de dicho color (I).
- d. Porque de todos los colores que componen la luz blanca que ilumina el cuadro, los que principalmente le llegan al Sol que ha sido dibujado es el rojo y el amarillo y por ello se lo ve anaranjado (II).

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

- 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 (III).
- b. Por permanecer tanto tiempo al aire libre estamos encandilados, y entonces al entrar a la habitación cuesta mucho distinguir los objetos (hay que esperar a que las pupilas se dilaten para poder verlos) (I).
- 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 (II).
- d. Al estar en contacto con la luz solar, las pupilas se contrajeron, lo que hace que la luz (proveniente de los objetos) que puede ingresar al ojo no sea la suficiente para estimular el sistema visual y así verlos con claridad (IV).

6. ¿De qué color veríamos un auto que iluminado con luz blanca se ve turquesa, al iluminarlo con fuente de sodio? (Considera que estas lámparas de sodio emiten luz amarilla).

- a. Dado que llegará a nuestro sistema visual luz amarilla, ya que es la única radiación que reflejará el auto en estas condiciones de iluminación, lo veremos amarillo (IV).

- b. El auto no se verá turquesa porque la luz que incide en él no es blanca sino amarilla, y el color por el que se perciben los objetos está determinado por las características de la luz incidente. Seguramente, bajo la luz de sodio se verá amarillo (II)
- c. Lo veríamos verde, ya que al mezclarse el color turquesa (del coche) y el color amarillo (de la luz de sodio) se obtiene el color verde (I).
- d. El auto naturalmente refleja luz azul, celeste, verde y amarilla. Si está iluminado por «luces de sodio», se verá amarillo, ya que sólo reflejará esta radiación (III).



Ayuda: Espectro de reflexión de un objeto que se ve turquesa cuando se ilumina con luz blanca.

7. Si miramos fijamente hacia un objeto colocado frente a nuestros ojos, podemos percibir también con bastante precisión qué objetos se encuentran a su alrededor, sus formas y características. ¿Cómo es posible que suceda esto?
 - a. Vemos no sólo el objeto que tenemos enfrente, sino también los que están a su alrededor (independientemente de que sean opacos, transparentes o translúcidos) porque todos reflejan difusamente, al menos parte, de la luz que incide en ellos (III).
 - b. Podemos ver no sólo el objeto que estamos mirando directamente sino también los que se encuentran cercanos a él porque nuestro campo visual es amplio y, aunque enfoquemos nuestros ojos hacia un punto, puedo ver lo que hay a sus alrededores (I).
 - c. Sucede que los objetos reflejan luz difusamente, y ésta se propaga en línea recta y en todas las direcciones. La radiación proveniente de distintos objetos puede incidir en nuestros ojos, por lo que no sólo veré el que tengo enfrente, sino también muchos de los que lo rodean (IV).
 - d. Ocurre que la luz del ambiente no sólo ilumina el objeto que tengo enfrente sino todos los demás (ya que ésta se propaga desde la fuente y en todas las direcciones) y si los objetos están iluminados, los puedo ver (II).
8. Una persona daltónica ve solamente cuando la luz es azul, violeta o celeste. ¿De qué color verá él una pelota de vóley (que todo observador normal ve blanca bajo la luz del Sol) si se la ilumina con una fuente de neón? (La fuente de neón emite luz azul).
 - a. La pelota naturalmente refleja la luz azul y esta persona puede ver dicha radiación, por lo que terminará viendo azul la pelota (II).
 - b. Dado que las luces coloreadas agregan su color a los objetos y que esta persona puede ver el azul, verá de dicho color la pelota cuando es iluminada con luz azul (I).
 - c. Dado que el sistema visual de esta persona se estimula con luz azul y que la pelota refleja naturalmente esta radiación, verá la pelota azul (IV).
 - d. Dado que la luz emitida por la fuente de neón es azul, esta persona verá la pelota azul porque, pese a su enfermedad, puede ver dicha radiación (III).

Science Models to Explain Sight and Colour: The *Complexities* Associated to Learning

BRAVO, BETTINA¹, PESA, MARTA² y POZO, JUAN IGNACIO³

¹ Dpto. Cs. Básicas, Facultad de Ingeniería, Olavarría, Bs. As. Argentina.

² Departamento de Física. Tucumán. Argentina

³ Departamento de Psicología Básica. UAM. Campus de Cantoblanco. Madrid.

bbravo@fio.unicen.edu.ar

mpesa@rectorado.unt.edu.ar

nacho.pozo@uan.es

Summary

The ideas that students have at different ages related to the sight of objects and the perception of colour have been studied in a number of research works. It was established that after formal education, students from different education levels tend to explain these phenomena through an intuitive way of learning which differs ontological, epistemic and conceptually from the scientific way of learning. What has to be questioned immediately is why students have difficulties in building the new models that science proposes and why traditional formal education does not favour changes in the way students learn. The aim of this work is to show the most implicit characteristics of ideas that are shared by students from different education levels related to the sight and perception of colour, trying to «go beyond» the simple description of these ideas to analysing, knowing and inferring the most implicit characteristics. This knowledge will let us know the implied complexities in science learning and, in relation to this, what teaching strategies would favour learning with greater success.

With this aim, the knowledge shared about sight and perception of colour is studied and characterized in 14-15 year-old students (that in Argentina finish compulsory secondary school), 17-18 year-old students (who finish non-compulsory secondary school) and non-graduate science teachers (specialized in Biology). This characterization analyses whether these people recognize the variables (light-object-visual system) and fundamental interactions (absorption and selective reflection, perception) that have to be taken into account when a scientific explanation about the analysed perceptive phenomenon is drawn up. The analysis of the explicative model that students choose with more probability to explain both phenomena and the inference of the ontological, conceptual and epistemic principles and ways of reasoning associated that underlie the shared knowledge are based on the answers given by students in a multiple choice test prepared for this research.

To accomplish this quasi-experimental study, a factorial design is implemented to allow for the study of the influence (and interrelation) of the independent variables over the independent ones. The independent variables are: the level of schooling (compulsory secondary education, non-compulsory secondary education and teaching training college), the content (sight and colour) and the type of shared conception (intuitive ideas, ideas based on simple coincidences, partially adequate ideas in the context of school science and ideas of school science). The dependant variables which represent the way in which students explain the perceptive phenomena, is given by the probability with which the different conceptions are used (intuitive and coherent with the science ones).

Variance analyses were carried out on the results obtained in the different groups in relation to the average probability with which the conceptions in each content are used, to evaluate if the type of conception used by students depend on the level of schooling and/or type of phenomenon to explain. To establish the nature of those influences post-hoc analysis were elaborated through the comparative test of Duncan.

The most relevant results show that although the tendency to use intuitive ideas decreases as the schooling level increases; secondary school students (compulsory and non-compulsory school) and potential teachers of this level explain the analysed perceptive phenomena in analogical terms: based on the everyday knowledge. They tend to understand that we see, only because we have eyes and look at the object and that colour is a property of matter. Traditional instruction, however, would not foster a change in the way students learn from an intuitive way to another coherent with science. In view of this reality a didactic proposition was elaborated, implemented and tested with the intention of improving the learning of perceptive phenomena in secondary education, and with this, favour an ontologic, epistemic and conceptual, gradual and slow change in the way students learn. The most relevant characteristics of the designed methodology are described in this work.