

MODELOS DE PROCEDIMIENTOS CREADOS MEDIANTE MAPAS CONCEPTUALES. CONCRECIÓN A UNA PRÁCTICA DE LABORATORIO DE ÓPTICA

*Guadalupe Martínez, Ángel Luis Pérez, M^a Isabel Suero & Pedro J. Pardo, Universidad de Extremadura, España
Email: mmarbor@unex.es, <http://grupoorion.unex.es>*

Abstract. En este trabajo se presenta la utilidad de los Mapas Conceptuales elaborados con CmapTools para la creación de Modelos de Procedimientos como recurso didáctico para la realización estructurada de las prácticas de laboratorio. Para esta experiencia se ha elegido una práctica del laboratorio de óptica. La experiencia se ha llevado a cabo en el curso 2010/2011 con los alumnos de la asignatura “Técnicas experimentales en óptica” de la Facultad de Ciencias en la Universidad de Extremadura (España). El estudio ha consistido en la introducción de Mapas Conceptuales en el trabajo práctico en el Laboratorio, con el fin de ayudar a los alumnos a relacionar significativamente los contenidos teóricos con el conocimiento práctico, para aumentar la conexión teórico-práctica y mejorar el rendimiento conseguido. Los resultados obtenidos en la evaluación de la utilización de esta metodología didáctica indican una mejora del aprendizaje tras esta integración de herramientas didácticas cognitivas en las prácticas de laboratorio. Concretamente, se ha comprobado que estos mapas de procedimientos han ayudado a organizar los contenidos, objetivos y fundamentos de las prácticas, a la vez que han permitido a los alumnos alcanzar una comprensión duradera del contenido de óptica trabajado en el laboratorio, pues incluyen enlaces directos a fotografías, videos didácticos y animaciones, constituyendo un Mapa-guion de prácticas estructurado mediante dicho mapa. Los resultados obtenidos con los instrumentos de evaluación utilizados (cuestionarios y análisis de las entrevistas realizadas), sugieren que los mapas conceptuales y los mapas de procedimientos, constituyen una herramienta para “aprender a aprender” con Modelos de Conocimientos, y para “aprender a proceder” con Modelos de Procedimientos en las actividades prácticas en el laboratorio de óptica, y han permitido a los alumnos establecer conexiones entre los conceptos y procedimientos más relevantes puestos en juego en el laboratorio.

1 Introducción

1.1 *Los mapas conceptuales y la enseñanza de la física*

Los mapas conceptuales constituyen unas herramientas muy efectivas para promover el aprendizaje significativo, permitiendo a los alumnos construir su conocimiento a partir de una estructuración y organización de los contenidos conceptuales (Novak, Gowin & Johansen, 1983; Novak & Gowin, 1984; Novak & Musonda 1991; Chiu, Huang & Chang, 2000). La base teórica de los mapas conceptuales se encuentra en la Teoría de la Asimilación de Ausubel (Ausubel, 1968, 2000) y en la Teoría del Aprendizaje de Novak (Novak & Gowin, 1984). Estos autores afirman que para que se realice un aprendizaje significativo, la integración de los nuevos conceptos en nuestra estructura cognitiva exige vincular estos nuevos conocimientos a los conceptos previos que ya poseen los alumnos. En palabras de Novak, los mapas conceptuales son una poderosa herramienta para representar las estructuras de conocimiento del individuo y los cambios explícitos que tienen lugar en su conocimiento a lo largo del tiempo. Cañas et al. (2003), afirma que estas herramientas de representación del conocimiento deben tener una estructura básica y unas características específicas por lo que no todos los gráficos con texto en sus nodos son mapas conceptuales; sino que los Mapas conceptuales son bidimensionales, jerárquicos, de nodos enlazados, y constituyen diagramas que representan el conocimiento conceptual de una forma visual y concisa (Quinn, Mintzes & Lyes, 2004; Horton et al, 1993).

Si hacemos una revisión sobre las diferentes experiencias con el uso de mapas conceptuales, algunos autores han demostrado su utilidad como una forma de sintetizar el contenido estudiado durante una secuencia de aprendizaje (Horton et al., 1993). Sin embargo, como cualquier otra herramienta didáctica, su eficacia depende de cómo se utiliza y las condiciones en las que se usa. Concretamente, si nos centramos en la utilidad y el uso de los mapas conceptuales en la enseñanza de las ciencias, Okebukola & Jegede (1988, 1989) han presentado algunas de las principales ventajas del uso de mapas conceptuales como una estrategia para el aprendizaje de contenidos científicos, en particular, su influencia positiva en el rendimiento académico de los estudiantes. Montanero & Montanero (1995) estudiaron su utilidad como pre-organizadores, es decir, como un medio de presentar una visión general del contenido capaz de mostrar los conocimientos previos de los estudiantes. Walker (2003) utiliza los mapas conceptuales para la evaluación de los estudiantes. Otros autores (Hernández & Serio, 2004), comparan varios métodos de enseñanza en un tema de ciencias concreto, mostrando que los mapas conceptuales son especialmente útiles como pre-organizadores del conocimiento, tanto si son presentados por el profesor como si son los propios alumnos quienes los construyen, siempre y cuando el docente les ayude a conectar con lo que se ha aprendido. Broggy & McClelland (2008), han llevado a cabo una investigación para determinar el impacto de los mapas conceptuales en el aprendizaje de la física. El proceso de construcción de un mapa conceptual es una estrategia de aprendizaje de gran alcance que obliga al alumno a reflexionar activamente sobre la relación entre los términos. Esto hace que los mapas conceptuales sean

especialmente adecuados para el estudio de la ciencia, sobre todo para los alumnos que perciben la ciencia como una simple memorización de datos (Dorough & Centeno, 1997).

Austin & Shore (1995), utilizan los mapas conceptuales para el aprendizaje de la física, y han puesto de manifiesto que los mapas conceptuales son útiles para evaluar la comprensión de las relaciones entre los conceptos necesarios para resolver problemas de física. Particularmente, Zieneddine & Abd-El-Khalick (2001), estudiaron la efectividad de los mapas conceptuales como herramientas de aprendizaje en el desarrollo de la comprensión conceptual de los estudiantes de primer año en un curso universitario de física, y demostraron que los estudiantes que utilizan los mapas conceptuales obtuvieron mejores puntuaciones. Por otra parte, los participantes señalaron que los mapas conceptuales les ayudaron a organizar su conocimiento y promover su comprensión de los conceptos de física.

Otros estudios señalan las ventajas de la colaboración en el uso de mapas conceptuales en física. El aprendizaje colaborativo se basa en la idea de que los estudiantes se influyen mutuamente en su aprendizaje a través de un intercambio de conocimientos y de una negociación de sus significados (Pérez et al. 2010; Baker, Hansen, Unión & Traum, 1999; Barron, 2003). Roth & Roychoudhury (1992) encontraron que cuanto más extenso fueron las explicaciones y justificaciones en la discusión, mayor era la probabilidad de que se produjese el cambio conceptual. Pérez et al. (2008) llevaron a cabo una serie de experiencias educativas en las que probaron la aplicación de los mapas conceptuales en apoyo de los procesos de colaboración en la reconstrucción entre el conocimiento y el cambio conceptual en los alumnos. Sus resultados demostraron el gran potencial de los mapas conceptuales para fomentar el cambio conceptual y la modificación de las teorías implícitas sobre los fenómenos físicos.

1.2 Los mapas conceptuales: De los modelos de conocimiento a los modelos de procedimientos

La implantación del Sistema europeo de transferencia y acumulación de créditos, (créditos ECTS) han supuesto la remodelación del sistema educativo universitario español en cuanto a las programaciones y a la metodología didáctica, centrándose ambas, cada vez más, en la actividad de los alumnos, siendo la función del profesor la de actuar como guía en el proceso de aprendizaje de los estudiantes. Esto conlleva la conveniencia de proponer algunas metodologías innovadoras para favorecer la construcción del aprendizaje en nuestros alumnos.

Desde hace muchos años, nuestro grupo de Investigación viene aplicando los mapas conceptuales como metodología didáctica en las asignaturas que tenemos asignadas en el departamento de Física de la Facultad de Ciencias, en la Universidad de Extremadura, con el objetivo de promover el aprendizaje significativo en nuestros alumnos, así como con el fin de potenciar diferentes estrategias de aprendizaje para transformar la información sobre los contenidos de una asignatura en conocimiento (Pérez, Suero, Montanero & Montanero, 2000; Pérez, Suero, Montanero & M. Pardo, 2001; Pérez, Suero, Pardo & Montanero, 2006; Pérez, Suero & Pardo, 2008; Pérez et. al., 2010). En la línea de este planteamiento, los mapas conceptuales permiten la construcción de modelos de conocimientos (Cañas et al., 2000) que proporcionen una estructura cognitiva lógica para relacionar los contenidos conceptuales de una materia. Para la construcción de estos modelos de conocimientos, se interrelacionan entre sí diferentes mapas conceptuales (y sus correspondientes recursos) en los que se organizan y clarifican los conceptos, para estructurar la información, configurando y generando conocimiento, y haciendo mucho más eficaz la comunicación de la misma (Martínez, Pérez, Suero & Pardo, 2012).

Concretamente, en investigaciones previas a la que aquí se presenta, nuestro grupo de trabajo ha mostrado el incremento de aprendizaje estadísticamente significativo que se obtiene tras la utilización de los alumnos de modelos de conocimientos basados en mapas conceptuales (Martínez, Pérez, Suero & Pardo, 2010; Pérez, et al. 2010). Quedando con ello validado que los mapas conceptuales son una herramienta didáctica muy potente para ayudar a los alumnos a “aprender a aprender” y trabajar los contenidos conceptuales que puedan ser estudiado en una materia de aprendizaje. Sin embargo, en asignaturas científicas de carácter más práctico como puede ser el Laboratorio de Óptica, el trabajo experimental forma parte de su carácter disciplinar, por lo que es necesario realizar también materiales didácticos para atender a estos objetivos de tipo procedimentales. Es por ello que en este trabajo se ha atendido también a la parte experimental de la Óptica, y se han desarrollado “Modelos Procedimentales” basados en Mapas conceptuales de las prácticas del laboratorio, que han proporcionado a los alumnos y a los profesores, nuevas herramientas didácticas que permiten llevar a cabo experiencias de laboratorio en entornos tanto presenciales como virtuales (usando la herramienta Cmaptools). Consideramos por tanto, que es posible la extrapolación al ámbito procedimental de la utilización de los mapas conceptuales. En la línea de este planteamiento, se ha llevado a cabo esta experiencia para trabajar con mapas conceptuales tanto contenidos conceptuales como procedimentales en la asignatura de óptica. Estos mapas conceptuales han

servido a los alumnos de “andamiaje” para facilitarles el proceso de adquisición de los contenidos conceptuales y procedimentales de manera organizada, secuenciada, jerárquica e integradora, convirtiendo a los mapas conceptuales en una herramienta no sólo para ayudar a “aprender a aprender” a nuestros alumnos, sino también para ayudarles a “aprender a proceder”.

El objetivo de este trabajo ha sido la utilización de mapas conceptuales en las prácticas de laboratorio con el fin de focalizar a través de las preguntas claves de los mapas conceptuales desarrollados, el contenido, fundamento, objetivos, materiales, procedimientos, resultados y conclusiones de las distintas experiencias del laboratorio. El objetivo de partida es valorar si los conceptos y procedimientos que adquieren los alumnos son más significativos con los Mapas-Guiones desarrollados que con los tradicionales guiones de prácticas. En la figura 1 se muestra un mapa conceptual sobre el uso de los mapas conceptuales como Modelos de Procedimientos.

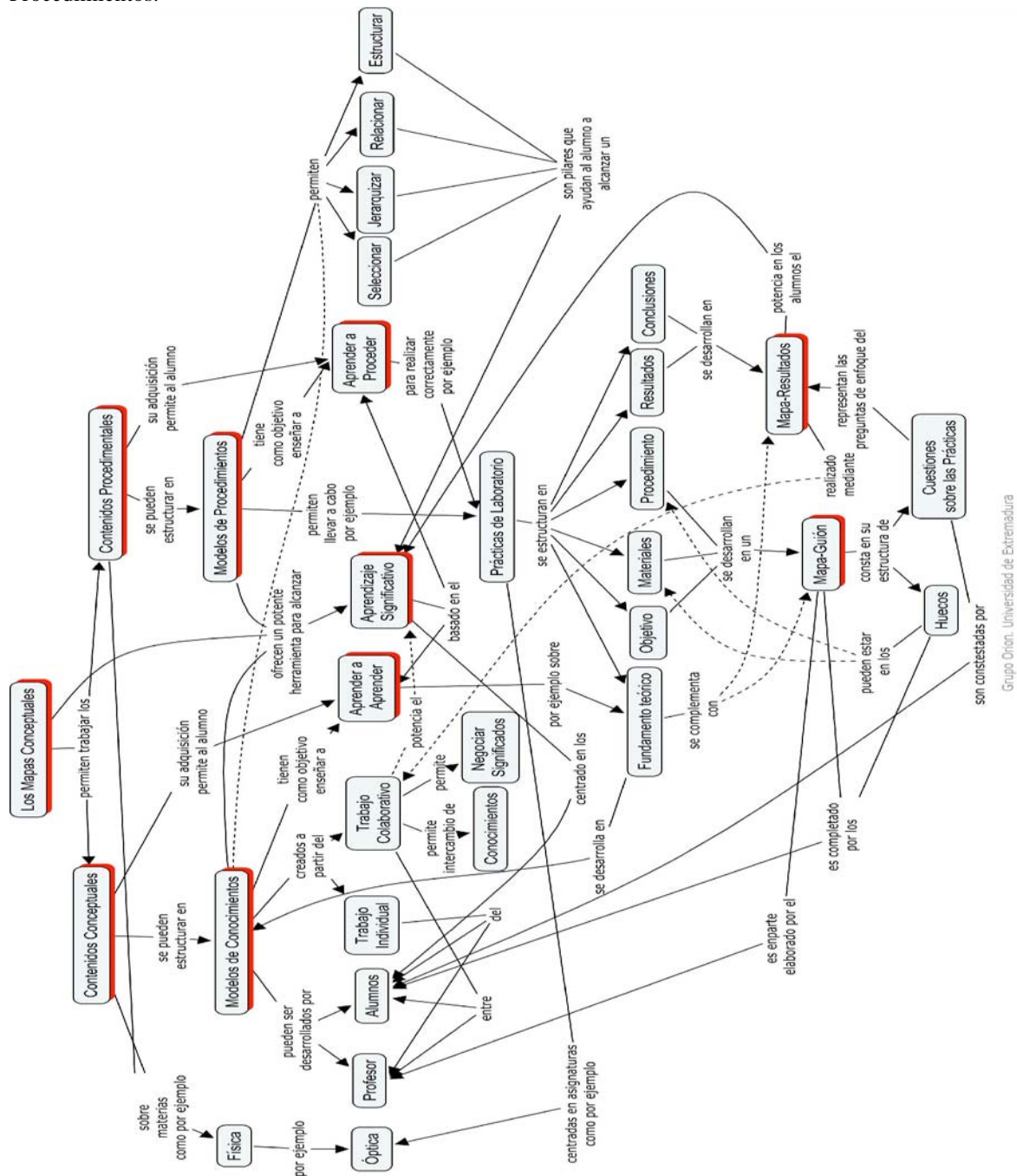


Figura 1. Mapa conceptual sobre el uso de los mapas conceptuales como Modelos de Procedimientos

2 Metodología y desarrollo de la Investigación

2.1 Diseño de la Investigación

La experiencia que se presenta se ha llevado a cabo en el curso académico 2010/2011 con los alumnos que cursaban la asignatura de “Laboratorio de Óptica” en la Facultad de Ciencias en la Universidad de Extremadura (España). El estudio experimental se ha llevado a cabo en 8 sesiones de prácticas de laboratorio de 4 horas cada una, en las que se han estudiado y realizado diferentes prácticas sobre los contenidos de Óptica: Reflexión de la luz, Refracción de la luz, Lentes, Prismas Ópticos, Fenómenos de Interferencia y Fenómenos de Difracción.

La metodología utilizada se ha dividido en las siguientes fases:

- En primer lugar, se llevó a cabo una primera sesión con los alumnos, a modo de introducción, sobre Mapas Conceptuales. En este seminario, se les introducía el concepto de mapa conceptual, sus características y ventajas y se les instruía en la realización de los mismos con el programa Cmaptools del IHMC. En esta primera sesión para facilitarles la construcción de los mapas conceptuales, se utilizaron los videotutoriales elaborados por nuestro grupo de investigación y que se encuentran disponibles en la página web: <http://grupoorion.unex.es/cmaptools/cmaptools.htm> (Martínez, Pérez, Suero & Pardo; 2007).
- En una segunda fase, los alumnos elaboraron de manera individual Mapas Conceptuales sobre los fundamentos teóricos de las prácticas de laboratorio que se iban a llevar a cabo. De esta manera, se pudo evaluar cuales eran los conceptos y preconcepciones que presentaba cada alumno con respecto a los contenidos teóricos que se iban a trabajar en las prácticas del laboratorio.
- Se utilizaron algunos de los Mapas Conceptuales creados por los alumnos como organizadores previos para la exposición de los contenidos teóricos trabajados. Para ello, se utilizó un primer nivel de elaboración del Mapa Conceptual en el que se incluían únicamente los conceptos más generales del tema. Esto nos permitió utilizar el mapa como un “puente conceptual” entre los conocimientos previos del alumno (lo que el alumno sabe) y el nuevo contenido a aprender. Es decir, esta fase en el proceso de elaboración de los Mapas Conceptuales, nos permitió “negociar los significados” de los contenidos tratados (Novak & Gowin, 1984; Novak & Musonda, 1991; Novak & Cañas, 2006; Ausubel, 2000).
- Posteriormente, se corrigieron y se reelaboraron los Mapas Conceptuales creados inicialmente. Esta fase se llevó a cabo con los alumnos agrupados por parejas: Se obtuvieron así mapas conceptuales consensuados por cada grupo de 2 alumnos. Este proceso de reelaboración es importante, porque dio lugar al establecimiento de relaciones conceptuales no consideradas en un primer momento. Se propició así la aparición de nuevas construcciones proposicionales y nuevos conocimientos.
- Una vez puesta en común la base teórica de la práctica, las parejas de alumnos realizaron las experiencias de laboratorio correspondientes a esos contenidos conceptuales trabajados. De entre todos los mapas consensuados por parejas, se eligió por votación, en función de la puntuación obtenida en los mapas por los métodos de Bartels (1995) y/o de Novak, el mejor mapa conceptual que representase la base teórica de cada práctica. Con esta actividad se consiguió una mayor motivación por parte del alumnado, pues se les puntuaba con un 0,25 extra en la calificación final de las prácticas de la asignatura por cada mapa conceptual que hubiese sido seleccionado.
- Una vez elaborados los distintos Mapas Conceptuales de los fundamentos teóricos de las prácticas, se enlazaron entre sí a través de los conceptos que tenían en común para construir un Modelo de Conocimiento sobre la materia tratada, transformando la información sobre los contenidos de la asignatura de óptica en conocimiento.
- En una tercera fase, el profesor facilitaba al alumno un mapa conceptual de base sobre la práctica que tenían que realizar por parejas. En dicho mapa conceptual, se recogían el título y objetivo de la práctica que se iba llevar a cabo. Del mismo modo, se le facilitaba el equipo de laboratorio y la bibliografía necesaria para la correcta realización de la práctica. Los alumnos, debían completar los mapas conceptuales del guion de las prácticas añadiendo los materiales, procedimiento y los enlaces cruzados que estuvieran relacionados con el mapa conceptual de los fundamentos teóricos que se habían realizado en las otras sesiones. Para facilitar la construcción de estos mapas a los alumnos, se les facilitaba una serie de conceptos mínimos que debían de aparecer. Así como una serie de preguntas guía para focalizar la atención del alumno, y que sirviesen de preguntas de enfoque de los mapas conceptuales de resultados. Tras la realización de la práctica, el alumno debía presentar un informe final de prácticas con un mapa conceptual elaborado con Cmaptools en el que se reflejaran los resultados y conclusiones obtenidas.

En la figura 2 se muestra un ejemplo del Modelo de Procedimiento que constituye el Mapa-guion de la práctica “Reflexión de la luz. Formación de Imágenes”.

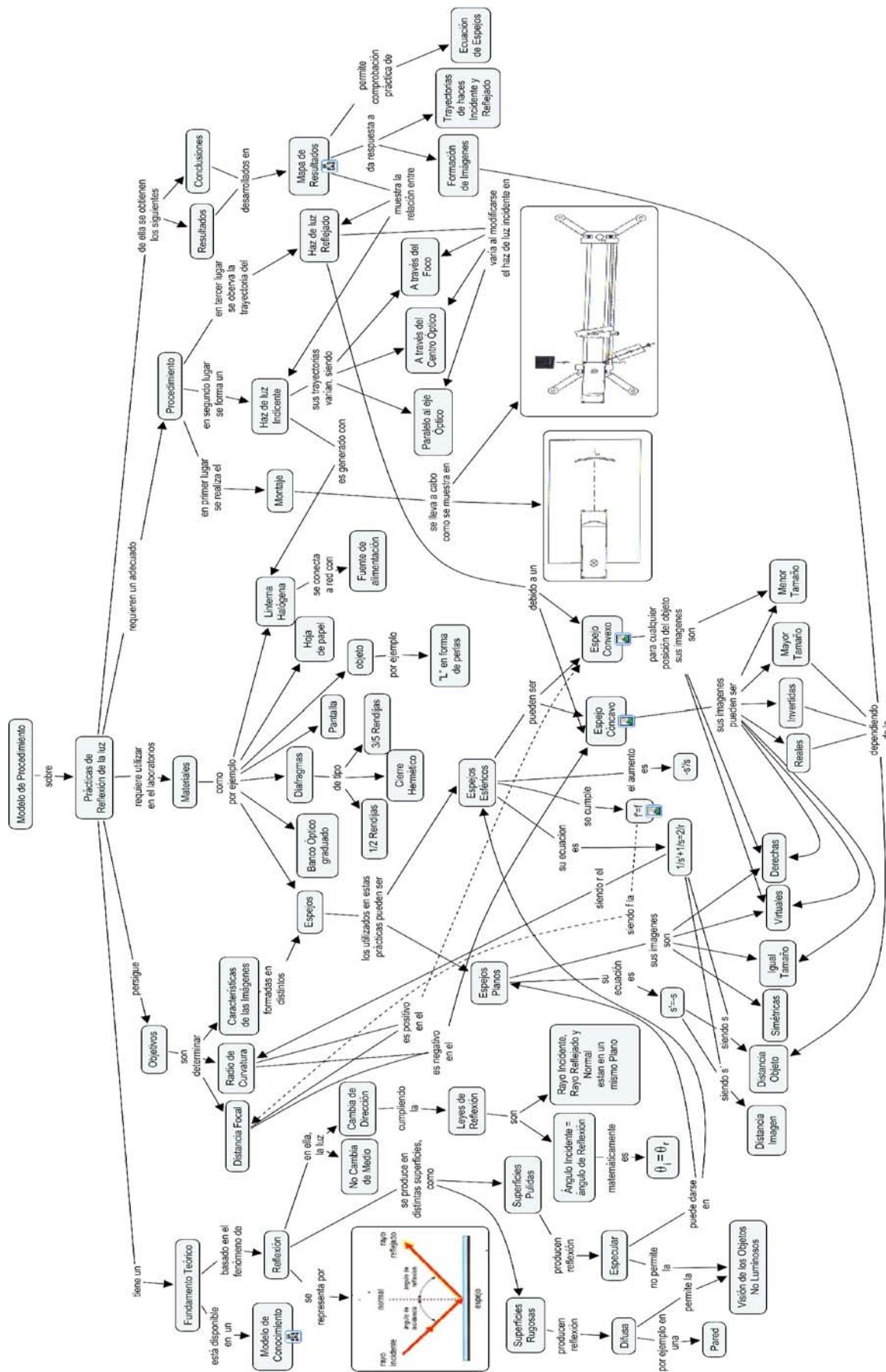


Figura 2. Modelo de Procedimiento que constituye el Mapa-guion de la práctica “Reflexión de la luz. Formación de Imágenes”.

En la figura 3 se muestran a modo de ejemplo una captura de la ficha-práctica con las preguntas guía que conforman las preguntas de enfoque del Mapa de Resultados.

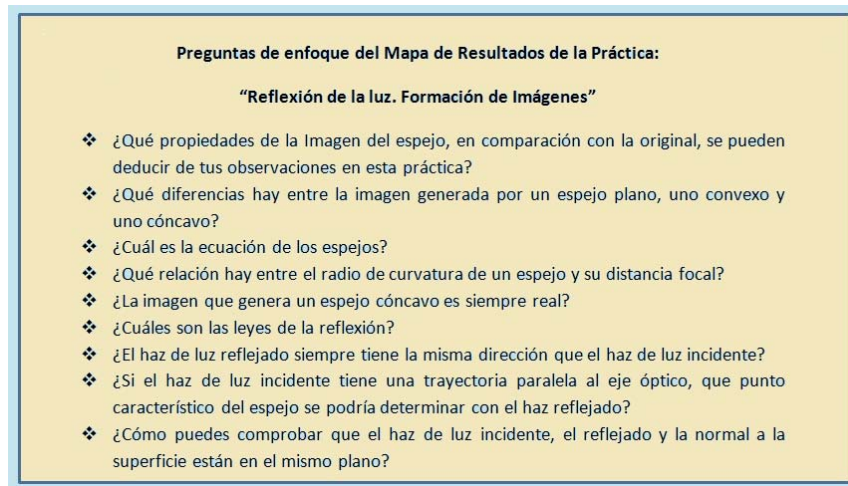


Figura 3. Captura de la ficha-práctica con las preguntas guía que conforman las preguntas de enfoque del Mapa de Resultados.

3 Resultados y Conclusiones

La evaluación de esta experiencia se ha realizado desde tres puntos de vista:

- Evaluación del aprendizaje obtenido (Con test de conocimientos y procedimientos).
- Evaluación cuantitativa de los mapas conceptuales y procedimentales (Método de Novak).
- Evaluación de la metodología (Entrevistas estructuradas y valoración en escala Likert).

Concretamente, para evaluar el grado de aprendizaje obtenido por los alumnos, una vez realizada la práctica de laboratorio, el alumno debía contestar a un cuestionario específico y a un test de conocimientos para cada una de las experiencias. Las preguntas combinaban los modelos de test de repuestas múltiples, dicotómicas y preguntas cortas para abarcar todos los contenidos conceptuales y procedimentales de las prácticas. Dichos cuestionarios podían ser descargados de la plataforma virtual en formato pdf, o ser contestados on-line a través de formularios interactivos. Una vez completados debían ser enviados al profesor para su evaluación. En la figura 4 se muestran las calificaciones medias obtenidas en las prácticas por los alumnos que formaron parte de esta experiencia. Puede observarse que el 100% de los alumnos aprobaron con éxito las prácticas de laboratorio, el 53,8% tuvo una calificación de notable y el 46,2% de sobresaliente. Este resultado nos indica que los Modelos de Procedimientos constituyen una herramienta didáctica cognitiva de gran utilidad para que el alumno aprenda a proceder significativamente.

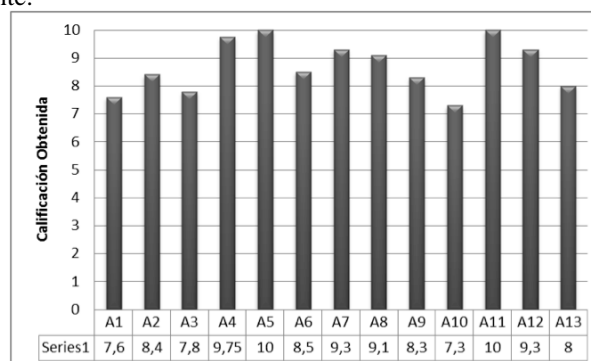


Figura 4. Calificaciones medias obtenidas por los alumnos

Por otro lado, se realizó una evaluación cuantitativa de los mapas conceptuales realizados por los alumnos, tanto los que constituyen el Modelo de Conocimiento sobre los contenidos teóricos de las prácticas, como los que constituyen los Modelos de Procedimientos de las experiencias realizadas. Para llevar a cabo esta valoración de la actividad, se utilizó el Método de Novak (Novak, 1984). Según Novak, con este método de evaluación de los mapas se puede diferenciar entre el grado de aprendizaje memorístico y aprendizaje significativo realizado

por los autores de los mapas conceptuales. La puntuación obtenida (según el índice de Novak) de cada mapa consensuado por los alumnos se comparó con los valores obtenidos en el Modelo de Procedimiento guía realizado por el profesor de la asignatura. De esta manera, se pudo cuantificar el grado de aprendizaje de los alumnos a partir de las jerarquías, relaciones válidas, asociaciones cruzadas válidas y significativas y ejemplos aportados por los estudiantes en los Modelos de Procedimientos. Las altas puntuaciones obtenidas en los mapas consensuados, han revelado que la integración de herramientas didácticas cognitivas en las prácticas de laboratorio permite a los alumnos alcanzar una comprensión duradera del contenido y del procedimiento estructurado en los mapas.

Adicionalmente, se llevó a cabo una evaluación cualitativa de la metodología didáctica empleada a través de entrevistas estructuradas a los alumnos, quienes debían evaluar en una escala Likert el grado de satisfacción con la metodología utilizada. El objetivo que se pretendía con ello era obtener información del usuario final a nivel cualitativo sobre la efectividad de los Modelos de Procedimientos y de los Modelos de Conocimiento en el aprendizaje de los alumnos, con el fin de poder introducir mejoras y correcciones para su futura utilización en otros cursos académicos. En este apartado, la valoración obtenida fue muy positiva. Concretamente, los alumnos participaron activamente en la experiencia y mostraron un gran interés con la metodología didáctica empleada, considerando que gracias a ella habían superado con éxito la asignatura de prácticas.

Todos estos resultados, nos han permitido concluir que, los mapas conceptuales y los mapas de procedimientos, constituyen una herramienta para “aprender a aprender” con Modelos de Conocimientos, y para “aprender a proceder” con Modelos de Procedimientos” en las actividades prácticas en el laboratorio de óptica, y han permitido a los alumnos establecer conexiones entre los conceptos y procedimientos más relevantes puestos en juego en el laboratorio.

4 Agradecimientos

Gracias al Gobierno de Extremadura por su ayuda GR10102, parcialmente financiada por FEDER.

5 Referencias

- Austin, L.B. & Shone, B.M. (1995). Using Concept Mapping for Assessment in Physics. *Physics Education*, 30(1), 41- 45.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive viewpoint*. New York: Rinehart and Winston.
- Ausubel, D. P. (2000). *The Acquisition and Retention of Knowledge: a Cognitive View*. Dordrecht; Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Cañas, A. J., Ford, K. M., Novak, J. D., Hayes, P., Reichherzer, T. and Suri, N., 2001. Online concept maps: Enhancing collaborative learning by using technology with concept maps. *The Science Teacher*, 68(4), 49-51.
- Baker, M., Hansen, T., Joiner, R., & Traum, D. (1999). The role of grounding in collaborative learning tasks. In P. Dillenbourg (Eds.), *Collaborative learning: cognitive and computational approaches* (pp. 31-63). Oxford, UK: Elsevier Science Ltd.
- Barron, B. (2003). When smart groups fail. *Journal of the Learning Sciences*, 12, 307–359.
- Bartels, B. (1995). Promoting mathematics connections with concept mapping. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 1, 542-549.
- Broggy, J. & McClelland, G. (2008). An investigation to determine the impact of concept mapping on learning in an undergraduate physics course. *New directions in the Teaching of Physical Science*. 4, 34-38.
- Cañas, A. J., Ford, K. M., Coffey, J., Reichherzer, T., Carff, R., Shamma, D., & Breedy, M. (2000). Herramientas para Construir y Compartir Modelos de Conocimiento basados en Mapas Conceptuales. *Revista de Informática Educativa*, 13(2), 145-158.
- Cañas, A. J., Coffey, J. W., Carnot, M. J., Feltovich, P., Hoffman, R. R., Feltovich, J., et al., (2003). A summary of literature pertaining to the use of concept mapping techniques and technologies for education and performance support. Report from the Institute for Human and Machine Cognition.
- Chiu, C. H., Huang, C. C. & Chang, W. T., (2000). The evaluation and influence of interaction in network supported collaborative concept mapping. *Computers and Education*, 34(1), 17–25.
- Dorough, D.K. & Rye, J.A. (1997). Mapping for Understanding Using Concept Maps as windows to students' minds. *Science Teacher*, 64(1), 36-41.

- Hernández, P., & A. Serio (2004). ¿Cómo hacer eficaces los mapas conceptuales en la instrucción? *Infancia y Aprendizaje*, 27, 247–265.
- Horton, P. B., McConney, A. A., Gallo, M., Woods, A. L., Senn, G. J. & Hamelin, D. (1993). An investigation of the effectiveness of concept mapping as an instructional tool. *Science Education*, 77, 95–111.
- Martínez, G., Pérez, A.L., Suero, M.I. & Pardo, P.J. (2007). CmapTools: Realización y validación de un videotutorial de utilización. 17º Encuentro Ibérico para la Enseñanza de la Física. Granada (España)
- Martínez, G., Pérez, A.L., Suero, M.I. & Pardo, P.J. (2010). Comparación del incremento de aprendizaje obtenido al utilizar mapas conceptuales y cmaptools en el estudio de dos temas diferentes, pero de nivel de contenido conceptual equivalente. Fourth International Conference on Concept Mapping. Viña del Mar, Chile
- Martínez, G., Pérez, A.L., Suero, M.I. & Pardo, P.J. (2012). ICTs and their applications in education. Chapter book: Methodologies, tools and new developments for e-learning (pp. 169-190). ISBN 978-953-51-0029-4. Ed. Intech. Croacia
- Montanero, M., & Montanero, M. (1995). Didáctica del momento angular de una partícula. Badajoz, Spain: ICE.
- Novak, J. D., Gowin, D. B., & Johansen, G. T. (1983). The use of concept mapping and knowledge mapping with junior high school science students. *Science Education*, 67(5), 625–645.
- Novak, J. D., and Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Novak, J. D. & Musonda, D. (1991). A twelve-year longitudinal study of science concept learning. *American Educational Research Journal*, 28(1), 117–153.
- Novak, J. D., & Cañas, A. J., 2006. The theory underlying concept maps and how to construct them. Technical Report IHMC CmapTools.
- Okebukola, P. A., & Jegede, O. J. (1988). Cognitive preference and learning mode as determinants of meaningful learning through concept mapping. *Science Education*, 72, 489–500.
- Okebukola, P. A., & O. J. Jegede (1989). Students' anxiety towards and perception of difficulty of some biological concepts under the concept mapping heuristic. *Research in Science & Technological Education*, 7, 85–92.
- Pérez, A. L., Suero, M. I., Montanero, M., & Montanero, M., (2000). Mapas de expertos tridimensionales. Aplicaciones al diseño de secuencias instruccionales de Física, basadas en la teoría de la Elaboración. Badajoz, Spain: Junta de Extremadura.
- Pérez, A.L., Suero, M.I., Montanero, M. & Pardo, P.J., (2001). Three-dimensional conceptual maps: an illustration for the logical structure of the content of optics. *International Conference Physics Teacher Education Beyond 2000. Selected Contributions*. ISBN 2-84299-312-8; (pp. 603-604). Editorial Elsevier Francia.
- Pérez, A.L.; Suero, M.I.; Pardo, P.J. & Montanero, M., (2006). Utilización de Cmaps para mejorar los conocimientos relativos a la luz mediante su reconstrucción colaborativa. *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology Proc. of the Second Int. Conference on Concept Mapping San José, Costa Rica*.
- Pérez A.L., Suero, M.I., & Pardo, P.J., (2008). Utilización de Cmaps para mejorar los conocimientos relativos a la refracción de la Luz mediante su "Reconstrucción Colaborativa". *Óptica pura y aplicada*, 41, 17-23.
- Pérez, A.L.; Suero, M.I.; Montanero, M.; Pardo, P.J. & Montanero, M., (2010). Chapter 17 Concept maps and conceptual change in physics on *Handbook of research on Collaborative learning using concept mapping*. ISBN 15-990-4992-2 pp. 325-345 2009 Idea Group Publishing. USA
- Pérez A.L., Martínez, G., Suero, M.I., & Pardo, P.J., (2010). Determinación experimental del incremento de aprendizaje obtenido mediante la utilización de mapas conceptuales y cmaptools. Comparación de la cantidad de aprendizaje sobre las fibras ópticas conseguido utilizando mapas conceptuales y sin utilizarlos. Fourth International Conference on Concept Mapping. Viña del Mar (Chile).
- Quinn, H. J., Mintzes, J. J., Laws, R. A. (2004). Successive concept mapping: Assessing understanding in college science classes. *Journal of College Science Teaching*, 33(3), 12-16.
- Roth, W.-M. & Roychoudhury, A. (1992). The Social Construction of Scientific Concepts or the Concept Map as Device and Tool Thinking in High Conscripton for Social School Science. *Science Education*, 76:531–557.
- Walker, J. M. T., & King, P. H. (2003). Concept mapping as a form of student assessment and instruction in the domain of bioengineering. *Journal of Engineering Education*, 92(2), 167–179.
- Zieneddine, A. & Abd-El-Khalick, F. (2001). Doing the right thing versus doing the right thing right: Concept mapping in a freshmen physics laboratory. *European Journal of Physics*, 22, 501-511.