

Enseñanza de la óptica geométrica en la escuela secundaria usando la estrategia ALOP

Teaching geometrical optics in high school using the ALOP approach

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Alejandra Alborch¹, Julio Benegas², Susana Pandiella^{1,3}

¹Departamento de Física y de Química - FFHA – Universidad Nacional de San Juan. Avenida Ignacio de la Roza 230 (O). San Juan. 5400. República Argentina.

²Dpto. Física -IMASL- Universidad Nacional de San Luis -CONICET- Ej. de los Andes 950-5700- San Luis.

³Instituto de Investigaciones en Educación en las Ciencias Experimentales (IEECE)-UNSJ.

E-mail: alborch.alejandra@gmail.com

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio realizado sobre la factibilidad y ventajas del uso en escuelas secundarias de nuestro sistema educativo del material didáctico ALOP (Active Learning in Optics and Photonics) para la enseñanza de temas de óptica geométrica. Se compara el desempeño de dos grupos intactos de alumnos, un curso fue seleccionado al azar para seguir la instrucción experimental del Manual de ALOP, el otro curso (control) siguió la enseñanza tradicional usada previamente. El aprendizaje conceptual logrado por estos alumnos sobre formación de imágenes por espejos planos y lentes convergentes y divergentes simples se midió mediante la aplicación del test Light and Optics Conceptual Evaluation (LOCE) inmediatamente antes (pretest) y después de la instrucción (postest). Los resultados indican que los estudiantes que siguieron el material de ALOP lograron una ganancia doble que aquellos de la instrucción tradicional, y de manera uniforme a través de las dimensiones conceptuales en que pueden separarse las preguntas de LOCE.

Palabras clave: Aprendizaje activo; Óptica geométrica; ALOP; LOCE; Evaluación conceptual.

Abstract

A group comparison of two intact high school courses with pre and post instruction testing was carried out to study the suitability and advantages of using the Active Learning of Optics and Photonics (ALOP) curricula in high schools. A randomly selected course followed the experimental instruction in ALOP Manual. The other course followed the traditional instruction. Conceptual learning of image formation by plane mirrors and single convergent and divergent lenses was measured by application, before (pretest) and after (posttest) instruction, of the multiple choice test Light and Optics Conceptual Evaluation (LOCE). Pretest measurements indicated that both courses were equivalent respect the previous knowledge. Results showed that conceptual learning of students following the ALOP doubled that attained by students in the control course, a situation maintained throughout the conceptual dimensions tested by the LOCE test.

Keywords: Active learning; Geometrical optics; ALOP; LOCE; Conceptual evaluation.

I. INTRODUCCIÓN

Los resultados en el aprendizaje conceptual de la Física de los alumnos de nivel secundario en Argentina y otros países iberoamericanos no son los esperados. Los estudios internacionales como PISA (Program for International Student Assessment) (OECD, 2015) muestran que los estudiantes de secundaria alcanzan niveles muy bajos de comprensión. Las últimas cuatro evaluaciones de PISA revelan que estos estudiantes tienen, como máximo, un conocimiento declarativo de las leyes fundamentales de la Física (de manera similar en las otras ciencias). En línea con estos resultados, un estudio de alumnos de nivel universitario que cursaban el primer año de carreras de ciencia e ingeniería en siete universidades de Iberoamérica – de cuatro países latinoamericanos y España- mostró que su conocimiento conceptual de la Física es casi nulo

después de terminar la escuela secundaria (Benegas y otros, 2009; 2010). Este estudio multinacional indagó sobre el conocimiento conceptual de recientes graduados de escuelas secundarias respecto de aplicaciones simples de las áreas más comunes de la Física: cinemática, leyes de Newton, trabajo y energía, electricidad y circuitos eléctricos. Estos autores no incluyeron óptica en la prueba diagnóstica porque este tema no siempre se enseña en los sistemas educativos que participaron en el estudio, pero puede razonablemente suponerse que los resultados habrían sido igualmente pobres. Como una posible causa de estos bajos resultados los autores puntualizan que la enseñanza de la ciencia en estos países sigue, en general, instrucción de tipo tradicional. Este tipo de enseñanza, centrada en el profesor, ha demostrado, en diferentes sistemas y niveles educativos, ser muy ineficaz para generar aprendizajes significativos, sólidos y estables (McDermott, 1991).

Estas deficiencias en el aprendizaje de la Física, que parecen ser comunes a muchos países en desarrollo, fueron consideradas por los participantes de la Conferencia Mundial en Física y el Desarrollo Sustentable realizada en 2005 en Durban, África del Sur, como parte de las celebraciones del año internacional de la Física (WCPSD, 2005). La Conferencia aprobó un documento que propone diversas acciones para fomentar y mejorar la enseñanza de la Física, incluyendo una fuerte recomendación para preparar materiales de enseñanza y organizar talleres de formación profesional docente destinados a formadores de profesores de Física en las diferentes regiones del mundo en desarrollo. Sobre estas consideraciones y sus propias experiencias, UNESCO invitó a un equipo internacional de educadores de la Física para desarrollar un taller para profesores de cinco días de duración destinado a fomentar el aprendizaje activo de óptica y fotónica (Active Learning of Optics and Photonics, ALOP). UNESCO eligió óptica y la fotónica para este taller porque estos temas constituyen un área "emergente de la Física contemporánea, relevante para el desarrollo sustentable y también adaptable a la investigación y las condiciones educativas en muchos países en desarrollo". El taller incluye, como una herramienta fundamental, un manual de capacitación (ALOP, 2006) que contiene, no sólo actividades de aprendizaje activo para el profesor y los estudiantes, sino también guías e instrucciones para que el docente construya u obtenga equipos de bajo costo. El material didáctico se desarrolla en seis capítulos que cubren temas básicos de la óptica geométrica (espejos, lentes y óptica del ojo), y también fenómenos de interferencia y difracción, óptica atmosférica y óptica de la comunicación. El capítulo del Manual que se dedica a la evaluación conceptual incluye una prueba de respuestas de opción múltiple y respuesta correcta única sobre temas de luz y óptica denominado LOCE (Light and Optics Conceptual Evaluation).

El Manual ALOP (ALOP, 2006) fue traducido al español (AAOyF, 2008) y utilizado por primera vez en 2008 en un taller para profesores de universidades e institutos de formación docente provenientes de diversos países de América del Sur. Posteriormente el taller fue repetido, en sus versiones en inglés y en español, en otros países de América Latina. A pesar de estos esfuerzos, su material didáctico no ha sido utilizado de manera generalizada y sistemática en ningún sistema educativo de la región, aunque se lo ha aplicado en algunos casos aislados de modo experimental y con resultados de aprendizaje variados (Rojas Sánchez, 2011; Vergara Marin, 2011; Herrera Pérez, 2012; González Pulgarín, 2013; González Arango, 2013). El haber participado del primer taller en español nos llevó a interesarnos en investigar si su enfoque pedagógico y el material de aprendizaje, diseñando en principio para ser utilizado con formadores de formadores, podría utilizarse eficazmente también con los alumnos de las escuelas secundarias de nuestro sistema educativo. Para ello, decidimos utilizar las actividades propuestas para docentes y estudiantes destinados a la enseñanza de formación de imágenes por espejos planos y lentes convergentes y divergentes, así como sus aplicaciones para corregir la visión humana. En este marco, este trabajo considera las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Puede el material de enseñanza de ALOP para el aprendizaje de la formación de imágenes por espejos planos y lentes ser utilizado en alumnos de escuelas secundarias de nuestro sistema educativo?
2. El uso de las actividades ALOP ¿mejora el aprendizaje conceptual de los estudiantes, en comparación con la enseñanza tradicional?
3. ¿Qué fracción de los estudiantes se beneficia de la metodología propuesta por ALOP?

II. EL EXPERIMENTO

Para responder a estas preguntas de investigación, se realizó un experimento de comparación de dos grupos intactos, correspondientes a dos cursos de escuela secundaria, los cuales fueron evaluados mediante el test LOCE antes (pretest) y después (postest) de la instrucción. Ambos cursos, que corresponden al sexto año de una escuela secundaria dependiente de una universidad nacional, tienen el mismo número de estudiantes ($N = 28$) y casi igual distribución por género, una situación típica de las escuelas secundarias locales. La escuela tiene una sala grande que se utiliza como laboratorio común a todos los cursos de ciencia. Está provista de grandes mesadas y limitado equipo experimental. El profesor, que fue el mismo

para ambos cursos, es un docente experimentado y bien preparado, que había asistido a la versión en español del taller ALOP celebrado en 2008 en Argentina. Tenía por lo tanto acceso al Manual de ALOP. El material didáctico para la enseñanza experimental fue tomado de los dos primeros módulos del Manual de ALOP: Introducción a la óptica geométrica y lentes y la óptica del ojo.

El primer módulo incluye la comprensión de las leyes de la reflexión y la refracción y la formación de imágenes por espejos y lentes. El segundo módulo explora cómo se enfoca la luz en lentes esféricas y cilíndricas y utiliza estos conceptos para modelar el ojo humano y para corregir los defectos habituales de la visión humana. Algunas actividades están planeadas para uso del profesor, en un formato similar a la de Clases Teóricas Demostrativas Interactivas (CDI) (Sokoloff y Thornton, 2004). Los estudiantes, trabajando en pequeños grupos, complementan estas clases interactivas con actividades experimentales similares a las propuestas por la estrategia de laboratorio Física en Tiempo Real (FTR) (Sokoloff y Thornton, 2012). El grupo control siguió con la estrategia didáctica utilizada en años anteriores, donde el profesor, en base a su experiencia, había seleccionado diversos materiales de enseñanza, incluyendo demostraciones experimentales y modelado de problemas. Todas estas actividades se centran en la labor del profesor, característica central de la enseñanza tradicional. El período de instrucción y el tiempo total asignado a cubrir estos temas fue el mismo en ambos cursos. El conocimiento conceptual de la óptica geométrica se midió mediante la aplicación de la prueba de opción múltiple LOCE. LOCE forma parte de una familia de tests de respuesta de opción múltiple, desarrollados en base a la investigación educativa sobre las dificultades de aprendizaje y modelos alternativos en los diversos temas de la física, que en las últimas décadas han demostrado su importancia para apoyar tanto la enseñanza como la investigación educativa. Puesto que la prueba LOCE incluye preguntas sobre óptica ondulatoria, un tema no incluido en esta propuesta didáctica, se utilizaron en este trabajo sólo las 34 preguntas relacionadas con las propiedades y características de las imágenes formadas por espejos planos y lentes convergentes y divergentes (para una versión completa del test, consultar ALOP, 2006 o AAOyF, 2008).

III. RESULTADOS

La efectividad de la instrucción fue determinada mediante la aplicación, en ambos cursos, de la prueba LOCE antes (Pre) y después (Post) de la instrucción. En ambas ocasiones el test fue administrado en la misma semana y en condiciones similares para ambos grupos.

Con los datos obtenidos se calculó la ganancia intrínseca g (Hake, 1998)

$$g = (\langle \text{Post} \rangle - \langle \text{Pre} \rangle) / (100 - \langle \text{Pre} \rangle), \quad (1)$$

donde los corchetes indican el rendimiento promedio de todo el curso. Con esta definición g representa la fracción de la máxima ganancia posible alcanzada por una dada muestra o grupo de estudio. Al ser una propiedad intensiva, esta definición de la ganancia intrínseca g permite comparar resultados de aprendizaje en muestras estudiantiles de distinto conocimiento inicial.

A. Rendimiento por pregunta

Las Figuras 1 y 2 muestran, para cada pregunta del test LOCE, el rendimiento promedio de todo el curso antes y después de la instrucción, para los grupos control y experimental, respectivamente. Un primer resultado es que las dos muestras tienen un muy bajo conocimiento conceptual inicial (~22%) respecto de imágenes formadas por lentes delgadas y espejos planos. Es decir que se pueden considerar como muestras equivalentes en relación al conocimiento previo de los temas evaluados. Post instrucción los rendimientos fueron muy diferentes, con la muestra experimental prácticamente duplicando el conocimiento adquirido por el grupo control: 76% vs 38%.

La Figura 1 muestra que después de la instrucción, solo en cinco preguntas (ítems 2, 9, 16, 25 y 30) el grupo control supera el 60% de rendimiento medio. Los datos de pretest de la misma Figura muestran que en estas preguntas el grupo también tuvo un buen rendimiento antes de la instrucción. El grupo experimental se comporta de manera casi opuesta: sólo en las preguntas 5, 28 y 29 el rendimiento promedio post instrucción es inferior al 60%, siendo en la mayoría de las restantes preguntas de un nivel sobresaliente.

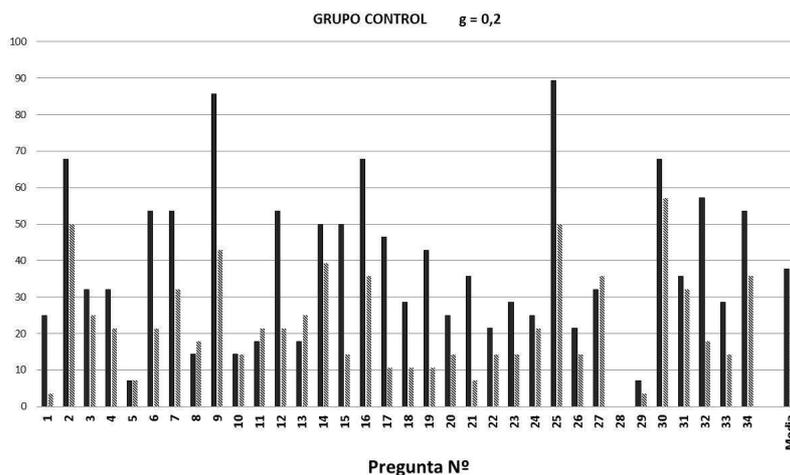


FIGURA 1: Rendimiento promedio (%) post (oscura) y pre (clara) instrucción del grupo control en 34 preguntas de la prueba LOCE. Las dos últimas barras a la derecha muestran el correspondiente rendimiento medio de todo el grupo. La ganancia intrínseca es $g_{ctrl} = 0,20$.

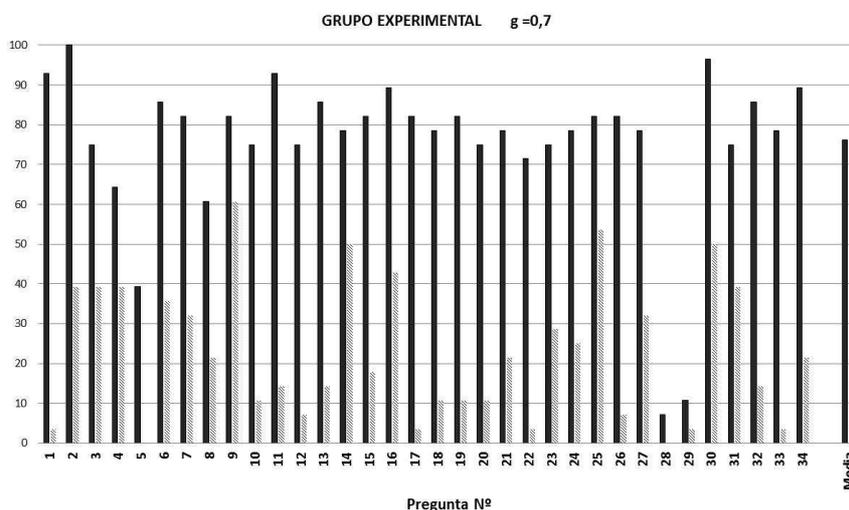


FIGURA 2: Rendimiento promedio (%) post (oscura) y pre (claras) instrucción del grupo experimental en 34 preguntas de la prueba. Las dos últimas barras a la derecha muestran el correspondiente rendimiento medio de todo el grupo. La ganancia intrínseca es $g_{exp} = 0,70$.

El grupo experimental logra una ganancia intrínseca $g_{exp} = 0,70$, superando al grupo control ($g_{ctrl} = 0,20$) en un factor de más de 3.

B. Rendimiento por alumno

La instrucción tradicional centrada en el profesor ha demostrado que promueve buenos aprendizajes sólo en una pequeña fracción de estudiantes (Benegas y Sirur Flores 2014; McDermott, 1991). Por lo tanto, un primer desafío para una reforma educativa exitosa es usar metodologías que generen buenos aprendizajes en la gran mayoría de los estudiantes. Este problema es particularmente relevante para las escuelas secundarias de nuestro sistema educativo, ya que todos los cursos son obligatorios e iguales para todos los estudiantes. Los profesores de Física, por tanto, tienen que tratar con estudiantes que no están particularmente motivados para esta ciencia, y que además piensan que la Física es muy difícil, poco interesante e inútil. Las figuras 3 y 4 muestran el rendimiento en el test LOCE de cada estudiante de los grupos control y experimental respectivamente.

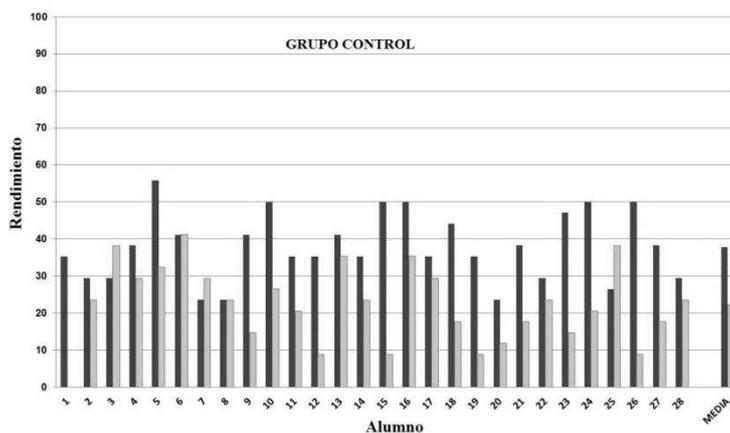


FIGURA 3: Rendimiento porcentual después (barras oscuras) y antes (barras claras) instrucción de cada uno de los 28 alumnos del grupo control en 34 preguntas de la prueba LOCE. Las dos últimas barras a la derecha muestran el rendimiento medio de todo el grupo en ambos tests.

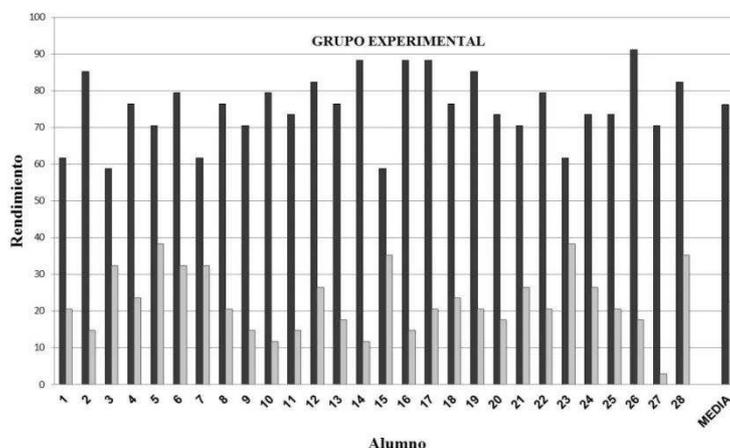


FIGURA 4: Rendimiento porcentual después (barras oscuras) y antes (barras claras) instrucción de cada uno de los 28 alumnos del grupo experimental en 34 preguntas de la prueba LOCE. Las dos últimas barras a la derecha muestran el rendimiento medio de todo el grupo en ambos tests.

La Figura 3 muestra el rendimiento de pre y post test de los 28 estudiantes del grupo control. Se observa que sólo 6 alumnos (21%) alcanzan un rendimiento del 50%. Otro rasgo llamativo es el efecto más bien pequeño de la instrucción: sólo unos pocos estudiantes (~15%) muestran una mejora relativamente importante. En promedio todo el grupo tuvo solo una modesta ganancia, pasando de 22% antes de la instrucción a 38% después de la misma.

La Figura 4 exhibe una situación totalmente diferente para el grupo experimental, donde todos los estudiantes poseen un rendimiento post instrucción superior al 50%. Si se considerara un rendimiento del 60% en estas preguntas de LOCE como umbral de aprendizaje conceptual, vemos que más del 90% de los estudiantes en el grupo experimental alcanza ese mínimo nivel de rendimiento, con aproximadamente 1 de cada 3 estudiantes desempeñándose por encima del 80%, sobresaliente nivel de comprensión conceptual de una parte significativa del grupo. Muy por el contrario ningún estudiante del grupo control alcanza el umbral de conocimientos propuesto. Este comportamiento puede verse también en la Figura 5, que presenta la distribución por cuartiles de rendimiento de los alumnos de ambas muestras. Estas distribuciones son prácticamente disjuntas: los estudiantes de la muestra control se distribuyen en los dos cuartiles de rendimiento más bajo, mientras que el 90% de los estudiantes del grupo experimental lo hacen en los dos cuartiles de rendimiento más alto. Si el rendimiento obtenido en la post prueba LOCE hubiera sido utilizado como el criterio institucional de aprobación, entonces todos los estudiantes del grupo de control habrían reprobado la materia. Estos resultados, que no son extraños en nuestro sistema educativo, pueden ayudar a comprender los muy bajos niveles de comprensión conceptual exhibido por alumnos ingresantes a carreras de ciencias e ingeniería en diversas universidades de la región (Benegas y otros, 2009; 2010).

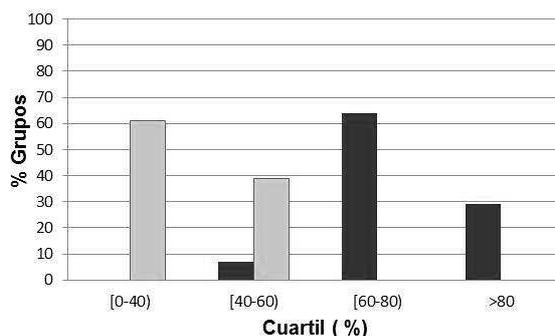


FIGURA 5: Agrupamiento (en %) de los estudiantes del grupo control (barras claras) y experimental (barras oscuras) según cuartiles de rendimiento en 34 preguntas de la prueba LOCE tomada al final de la instrucción.

IV. CONCLUSIONES

La intervención áulica fue diseñada para probar la adaptabilidad del currículo ALOP para enseñar algunos temas de óptica geométrica en escuelas de nivel secundario de la Argentina, y en sistemas educativos similares. Para ello se realizó un experimento de comparación de grupos intactos y equivalentes, con evaluación pre y post instrucción realizada mediante la aplicación del test de respuestas múltiples LOCE.

Primero se comprobó que las actividades experimentales propuestas en el Manual de ALOP, tanto para profesores como para estudiantes, se podían llevar a cabo con los materiales, instalaciones y demás condiciones disponibles en la institución, aunque algunos elementos como foquitos o plastilina para hacer un banco óptico sobre la mesa de laboratorio, fueron provistas, sin mayores dificultades, por el docente y alumnos.

La evaluación del aprendizaje conceptual, realizada mediante la aplicación del test LOCE, mostró que el grupo experimental logró un rendimiento post instrucción muy satisfactorio (76%), lo cual resulta en una ganancia intrínseca $g_{\text{exp}} = 0,70$, un muy alto nivel de logro, incluso para estrategias de enseñanza de aprendizaje activo (Hake, 1998), y bastante superior al logrado en similares aplicaciones en nuestra región (Rojas Sánchez, 2011; Vergara Marin, 2011; Herrera Pérez, 2012; González Arango, 2013; González Pulgarín, 2013). En contraposición, el desempeño del grupo control fue muy modesto ($\text{Post}_{\text{ctrl}} = 38\%$), que resultó en una ganancia intrínseca $g_{\text{ctrl}} = 0,20$, muy cercana a la media de los cursos de instrucción tradicional informados por Hake (1998). Este autor concluye que un valor de g por debajo de 0,30 es característico de la instrucción tradicional.

El rendimiento individual de los alumnos de ambas muestras está indicado en las Figuras 3 y 4. En ellas se aprecia que ningún estudiante de la muestra control alcanzó un rendimiento post-instrucción de 60%, considerado como un valor umbral de conocimiento conceptual sobre formación de imágenes por lentes delgadas y espejos planos. Muy por el contrario más del 90% de los estudiantes de la muestra experimental logró ese rendimiento.

En síntesis los resultados muestran que, en el plano material, las actividades propuestas por el grupo ALOP para óptica geométrica se pueden realizar en nuestras escuelas con una adaptación de las facilidades disponibles, o la búsqueda eficaz de aquellas que no se tienen, guiada por las sugerencias provistas por el Manual de Entrenamiento ALOP. Entendemos que los principales esfuerzos deberían dirigirse a la formación del docente, para que pueda dirigir actividades de aprendizaje activo, y en particular aquellas propuestas por ALOP. Esta una condición fundamental que debe ser satisfecha previo a que se ejecute el cambio de instrucción. El taller ALOP ha mostrado, en diversas regiones del mundo, que este entrenamiento se puede lograr mediante un taller intensivo de una semana de duración. Si estas condiciones se logran, nuestro experimento indica que la estrategia ALOP de aprendizaje activo produce un aprendizaje conceptual muy superior al logrado mediante la instrucción tradicional, y que estos resultados positivos se extienden a la gran mayoría de los estudiantes.

REFERENCIAS

AAOyF (2008). *Aprendizaje Activo de Óptica y Fotónica. Manual de Entrenamiento*. San Luis: Editorial Universidad Nacional de San Luis.

ALOP (2006). *Active Learning of Optics and Photonics. Manual ALOP*, UNESCO Paris. <http://www.light2015.org/dam/LightForDevelopment/activelearning.pdf>. Sitio consultado en mayo de 2015.

Benegas, J., Villegas, Pérez de Landazábal, C. y Otero, J. (2009). Conocimiento conceptual de Física básica en ingresantes a carreras de ciencias e ingeniería en cinco universidades de España, Argentina y Chile. *Revista Iberoamericana de Física*, 5(1), 35-43.

Benegas, J.; Pérez de Landazábal, C. y Otero, J. (2010). Estudio de casos: Conocimientos físicos de los estudiantes cuando terminan la escuela secundaria: una advertencia y algunas alternativas. *Revista Mexicana de Física*, 56(1), 12–21.

Benegas, J. y Sirur Flores, J. (2014). Effectiveness of Tutorials for Introductory Physics in Argentinean high schools Phys. *Physical Review Physics Education Research*, 10(1), 010110.

González Arango, C. M. (2013). La enseñanza de la óptica desde una conceptualización integradora de sus teorías, dinamizada y orientada por una concepción del aprendizaje significativo crítico. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. <https://core.ac.uk/download/files/334/18584632.pdf>. Sitio consultado en marzo 2015.

González Pulgarín, Y. (2013). Enseñanza-aprendizaje bajo un enfoque constructivista de la óptica geométrica mediante el uso de actividades experimentales: estudio de caso para el grado undécimo de la Institución Educativa Orestes Sindicce. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/11774/1/43925543.2013.pdf>. Sitio consultado en marzo 2015.

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 64-74.

Herrera Pérez, E. (2012). Diseño, construcción e implementación de una herramienta didáctica para abordar algunos conceptos fundamentales de óptica geométrica. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/8529/1/edissonherreraeperez.2012.pdf>. Sitio consultado en marzo 2015.

McDermott, L.C. (1991). Millikan lecture 1990: What we teach and what is learned—closing the gap. *American Journal of Physics*, 59(4), 301-315.

OECD (2015). Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) Resultados PISA 2015, <http://www.oecd.org/pisa/keyfindings/>. Sitio consultado en marzo de 2016.

Rojas Sánchez G. A. (2011). La enseñanza de los fenómenos de óptica geométrica a estudiantes de undécimo grado desde la perspectiva del aprendizaje activo. Tesis Magister en la Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales, Univ. Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/5326/>. Sitio consultado en marzo de 2016

Sokoloff, D. R. y Thornton, R. K. (2004). *Interactive Lecture Demonstrations: Active Learning in Introductory Physics*. Hoboken, NJ: Wiley.

Sokoloff, D. R.; Thornton, R. K. y Laws, P. W. (2012). *Real Time Physics Third Edition, Module 1: Mechanics, Module 2: Heat and Thermodynamics, Module 3: Electricity and Magnetism, and Module 4: Light and Optics*. Hoboken, NJ: Wiley.

Vergara Marin, D. P. (2011). *Estudio del impacto didáctico de la metodología “aprendizaje activo” en la enseñanza de la óptica*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. <https://core.ac.uk/download/files/334/11056369.pdf>. Sitio consultado en marzo 2015.

WCPSD (2005). World Conference on Physics and Sustainable Development- Physics Education Commission. <http://www.wcpsd.org/education/>. Sitio consultado en septiembre de 2015.