

# LA AUTOEVALUACIÓN COMO PROCEDIMIENTO DIDÁCTICO EN UN LABORATORIO DE ÓPTICA GEOMÉTRICA CON NUMEROSOS ALUMNOS

## SELF-EVALUATION AS A DIDACTIC TOOL IN A GEOMETRICAL OPTICS LABORATORY WITH A LARGE NUMBER OF STUDENTS

M. Melgosa (1), R. Huertas (1), A. Yebra (1), M.M. Pérez (1), M. J. Rivas (1),  
R. García-Monlleó (1), M.A. Pérez (1), E. Valero (1), E. Hita (1), J. Arasa (2),  
N. Tomás (2), M. Arjona (2), and M.L. Calvo (3)

(1) Departamento de Óptica. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. 18071 – Granada. Tel: 34 958246364. Fax: 34 958248533. Email: mmelgosa@ugr.es (2) Centro de Desarrollo de Sensores y Sistemas CD6. Universidad Politécnica de Catalunya. 08222 – Terrassa (Barcelona). Tel: 34 937398355. Fax: 34 937398923. Email: arasa@oo.upc.es (3) Departamento de Óptica. Facultad de Físicas. Universidad Complutense de Madrid. 28040 – Madrid. Tel: 34 913944684. Fax: 34 913944683. Email: mlcalvo@fis.ucm.es

### RESUMEN

Tras cada sesión de laboratorio, los alumnos deben responder individualmente a tres preguntas de opción múltiple aleatoriamente seleccionadas. El correspondiente software ha sido elaborado por nosotros. Esta prueba de autoevaluación consigue motivar a los alumnos antes y durante el desarrollo de las sesiones de laboratorio, a la vez que suministra al profesor información objetiva y continuada sobre el rendimiento de cada alumno. 141 alumnos (primer curso de la Diplomatura de Óptica y Optometría) han participado en este estudio. Nuestros alumnos obtuvieron un alto promedio (78.9%) de respuestas correctas en el test de autoevaluación. La satisfacción media de los alumnos con este sistema de autoevaluación fue de 8.1/10.

**Palabras claves:** Enseñanza de la óptica, óptica geométrica.

### ABSTRACT

After each laboratory session, students must answer individually three random multiple choice questions. The corresponding software has been developed by us. This self-evaluation test motivates students before and during sessions performance, and provides objective and continuous information to the teacher. 141 students (first course for the optics and optometry diploma) participated in our study. A high average of correct answers (78.9%) was achieved by our students. The estimated students' mean satisfaction with this system was 8.1/10.

**Key words:** Education, geometrical optics.

---

## REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] M. Melgosa, J.A. García, A.M. Rubiño, J.R. Jiménez, A. García-Beltrán, M.M. Pérez. “Prácticas de Óptica I”. 2ª Edición. Diplomatura de Óptica. Universidad de Granada (1990).
- [2] J. Casas. “Óptica”. 7ª Edición. Zaragoza (1994).
- [3] E. Hecht. “Óptica”. 3ª Edición. Addison Wesley (2000).
- [4] F.A. Jenkins, H.E. White. “Fundamentals of Optics”. McGraw-Hill (1981).
- [5] M<sup>a</sup>.S. Millán, J. Arasa. “Optica Geométrica I y II”. 2ª Edición. Escola Universitaria d’Optica de Terrassa. Universitat Politècnica de Caralunya (1987).
- [6] F. Mateos, L. Carretero, A. Fimia, R. Fuentes, I. Pascual. “Curso de introducción a la Óptica Geométrica”. Universidad de Alicante (1996).
- [7] J. Escofet, M<sup>a</sup>.S. Millán, E. Pérez, N. Vila. “Principios de Óptica Geométrica”. Cardellach Còpies – CBS SA. Terrassa (1997)
- [8] C. Hernández, B. Domenech, C. Vázquez, C. Illueca. “Óptica Geométrica: Teoría y cuestiones”. Universidad de Alicante (1999).
- [9] C. Harvey Palmer. “Optics, Experiments and Demonstrations”. Section A: Ray Optics. The John Hopkins Press, Baltimore (1962).
- [10] J. Bertý, A. Escout, P. Marchand, L. Martin, A. Oustry. “Physique pratique. Tome 3: Optique”. Librairie Vuibert, Paris (1974).
- [11] I. Pascual, C. Hernández, A. Fimia, F. Mateos. “Prácticas de Óptica Geométrica y Radiometría”. Universidad de Alicante (1988).
- [12] E. Hita, J. Romero, L. Jiménez del Barco, M. Melgosa, J.A. García, A.M. Rubiño, J.R. Jiménez, A. García-Beltrán. “Prácticas de Óptica 3º de Físicas”. Departamento de Óptica. Universidad de Granada (1991).

---

## 1.- INTRODUCCIÓN

Las prácticas de laboratorio constituyen una parte esencial en la formación del alumno en numerosas disciplinas de carácter experimental, como muestra, por ejemplo, el elevado número de créditos asignados a esta actividad en los Planes de Estudios de las diversas Titulaciones. Convendría por tanto, que el alumno recibiera este tipo de enseñanzas con el máximo interés y aprovechamiento, y también que el profesor, que usualmente tiene que atender a un elevado número de alumnos en el laboratorio, pudiera evaluar la actividad de dichos alumnos de forma continuada, y lo más objetivamente posible.

Concretamente nuestra experiencia docente en el laboratorio de Optica I (esencialmente una asignatura de óptica geométrica, impartida en el primer curso de la Diplomatura de Óptica y Optometría) nos ha llevado a detectar que no pocos alumnos acuden a las prácticas sin leer previamente los guiones de prácticas que se les facilitan, o

habiéndolos leído muy someramente, a lo que hay que añadir también que algunos alumnos ponen poco esfuerzo en el laboratorio a la hora de realizar las observaciones y medidas. No obstante, los informes de prácticas que elaboran los alumnos recogiendo su trabajo en el laboratorio, y que entregan al profesor al finalizar las prácticas, están a menudo muy bien elaborados (quizá porque en buena parte se copian de unos años a otros), y las prácticas de la asignatura se superan sin dificultad en la inmensa mayoría de los casos (para ello los alumnos deben de realizar también un examen escrito y, en algunas ocasiones, se realizan también exámenes orales en el laboratorio). Usualmente no disponemos de datos “objetivos” y continuados sobre el trabajo de cada alumno en el laboratorio de Optica I, mas allá de la mera apreciación personal del profesor (también muy útil, por cierto). Esta apreciación personal del profesor se ve a menudo dificultada por el elevado número de alumnos que debe de atender (en nuestro caso, 24 usualmente), máxime teniendo en cuenta que es la primera vez que estos alumnos acuden a un laboratorio de óptica (en el que usualmente se trabaja en penumbra), en una asignatura totalmente nueva para ellos (la formación sobre óptica en el Bachillerato es casi inexistente en la actualidad).

Pensamos que muchas de las deficiencias indicadas en el párrafo anterior son bastante generalizables a las enseñanzas de otros laboratorios de óptica, y de otras disciplinas científicas, por lo que convendría adoptar procedimientos correctores eficientes. En nuestro caso, conscientes de la importancia de la asignatura Óptica I dentro de los estudios de Diplomado en Óptica y Optometría, y en particular de sus prácticas de laboratorio, decidimos emprender un Proyecto de Innovación Docente durante el curso académico 2002-03, sobre la base de una experiencia previa de similares características desarrollada por profesores de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) a principios de la década de los 90. En este trabajo describimos los principales resultados de ese Proyecto de Innovación Docente, cuyos principales objetivos fueron los siguientes:

1) Estimular al alumno para que acuda al laboratorio de Óptica I habiendo leído el/los guión/es de la/s práctica/s que le corresponde hacer, y lograr que la/s realice con un mayor interés y aprovechamiento.

2) Facilitar al profesor de prácticas una evaluación “objetiva” y continuada de cada uno de sus alumnos, que, sin anular otras formas de evaluación apropiadas (e.g. entrega de informes de prácticas, etc.), soporte la calificación global que, con justicia, debe darse al trabajo de laboratorio de cada alumno.

3) Desarrollar un programa informático que sea fácilmente adaptable a las necesidades de otros laboratorios de óptica, e incluso laboratorios de otras Titulaciones o docencia teórica. Hasta donde hemos investigado, no logramos encontrar ningún software comercial que se adaptara completamente a nuestras necesidades en este sentido.

## 2.- MATERIAL Y MÉTODOS

Describiremos en primer lugar algunas características de nuestro laboratorio de Óptica I, para referirnos seguidamente al programa informático de autoevaluación que hemos empleado en dicho laboratorio.

Han participado en este Proyecto 141 alumnos, matriculados en la asignatura Óptica I en la Diplomatura de Óptica y Optometría de la Universidad de Granada, durante el curso académico 2002-03, y distribuidos en 6 grupos de prácticas. Los alumnos realizan las prácticas por parejas durante el segundo cuatrimestre (la asignatura es anual), habiendo como máximo 12 parejas (24 alumnos) por grupo de prácticas. Cada alumno realiza 6 sesiones de prácticas de 2,5 horas de duración cada una. Hubo además una sesión inicial, de duración menor, pero que fue de gran utilidad, ya que permitió al profesor dar instrucciones generales sobre el

funcionamiento del laboratorio, información sobre el programa de autoevaluación, etc. No todos los alumnos realizan todas las prácticas montadas en el laboratorio (8 en total), sino que hay establecido un sistema de rotación apropiado, que permite que todos los alumnos realicen algunas prácticas que se consideran especialmente importantes, sin que ningún alumno deje de realizar prácticas que permitan conocer aspectos esenciales de la asignatura. En el presente curso académico 2002-03 hay montadas las 8 prácticas siguientes (se indican con \* las 4 prácticas que están duplicadas):

1. Marcha de rayos. Refractometría por efecto Pffund. \*
2. Comprobación de relaciones paraxiales. \*
3. Medida de focales.
4. Elementos cardinales de un sistema óptico.
5. Refractometría. Estudio del prisma. \*
6. Medida de radios de curvatura.
7. Microscopio compuesto. \*
8. Aberraciones de sistemas ópticos. Limitación de rayos.

Los guiones de cada una de esas prácticas están recopilados en un cuaderno (1), que el alumno debe de tener, a fin de poderlos estudiar antes de llegar al laboratorio. En todo caso, el contenido de estas prácticas se corresponde con los principales contenidos de óptica geométrica de los textos clásicos de óptica (2-4) y textos elaborados para los estudiantes de las Diplomaturas y Escuelas de Óptica y Optometría de nuestro país (5-8), así como de otros textos sobre prácticas de laboratorio (9-12). En las sesiones de prácticas 1 y 8 el alumno realiza de hecho dos prácticas diferentes, con guiones distintos (1), pues se considera que tiene tiempo suficiente para ello dentro de la duración establecida para las sesiones de prácticas (2,5 horas).

En cuanto al programa informático desarrollado consta de 3 bloques, de los que sólo el bloque 3 es conocido y accesible al alumno (los bloques 1 y 2 son manejados exclusivamente por los profesores). Los bloques citados son los siguientes:

Bloque 1: El correspondiente a las fichas e historial de cada uno de los alumnos. Este bloque contiene una ficha por alumno con sus datos personales (nombre y apellidos, DNI, fotografía, etc.) y una ficha o historial en donde van quedando registradas qué preguntas se hicieron al alumno en cada práctica y cuáles fueron sus respuestas, así como el porcentaje de aciertos global y en cada práctica.

Bloque 2: La base de datos con las preguntas de cada práctica. Esta base de datos fue cuidadosamente elaborada por profesores con amplia

experiencia previa en la asignatura de Óptica I, de forma que las preguntas sean lo más apropiadas posibles. El contenido de las preguntas debe adaptarse a los principales objetivos que se pretende que el alumno haya conseguido al realizar cada práctica de esta asignatura (por ejemplo, la observación de un fenómeno, el conocimiento de una ley física, la realización correcta de una medida, etc.). Procuramos que la redacción de las preguntas fuese muy rigurosa de forma que sólo una de las opciones de respuesta fuera totalmente correcta y las restantes opciones actuasen como distractores. Se procuró realizar preguntas apropiadas para el tiempo máximo de respuesta fijado (45 s). Nuestra actual base de datos consta de un total de 124 preguntas (cada una de ellas con 3 ó 4 opciones), de forma que en cada una de las 8 prácticas hay disponibles entre 13 y 19 preguntas (Figura 1).

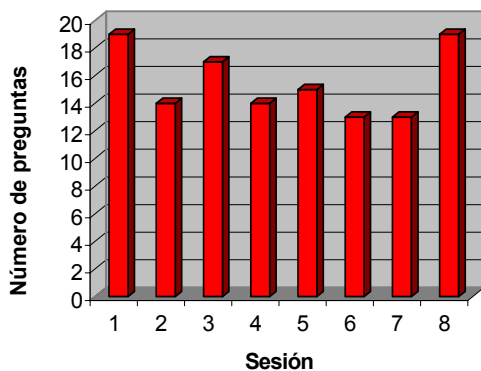


Figura 1. Número de preguntas de la base de datos en cada una de las 8 sesiones prácticas de laboratorio.

Bloque 3: El programa informático propiamente dicho. Este bloque permite identificar a cada alumno mediante su DNI, denegando el acceso si es preciso (Figura 2), y almacenando el resultado de las respuestas. Cuando el alumno ha accedido, debe de seleccionar la práctica que ha realizado, y entonces el programa actúa sobre la base de datos de preguntas (bloque 2) para elegir aleatoriamente cada una de las 3 preguntas y presentarlas sucesivamente. Como puede observarse en la Figura 2, el programa admite un máximo de 20 prácticas (con 100 preguntas en cada una de ellas), aunque actualmente sólo se han realizado 8. La Figura 3 muestra un ejemplo de la pantalla correspondiente a una pregunta concreta de la práctica 1. Una vez que se ha hecho el test correspondiente a una determinada práctica, el alumno ya no puede acceder de nuevo a dicha práctica en las sesiones posteriores.

Pensamos que para el alumno, el procedimiento de trabajo es bastante sencillo. Hay 2 ordenadores en el laboratorio, de forma que cada uno de los alumnos de la pareja está asignado a un ordenador diferente (de esta forma, es posible tener información individual de los alumnos que integran

cada pareja, que en ocasiones son académicamente bastante distintos). El alumno introduce su DNI y, si es correcto, recibe un mensaje de bienvenida, y pasa a seleccionar la práctica que ha realizado, y a responder sucesivamente las 3 preguntas. No es preciso que agote el tiempo de 45 s en cada pregunta, y dentro de ese tiempo puede cambiar la opción elegida tantas veces como desee. Tras cada respuesta el ordenador informa al alumno de si su respuesta es o no correcta, y le da finalmente el porcentaje de aciertos obtenidos en la práctica que ha realizado. Se va registrando en el historial de cada alumno (bloque 1) qué preguntas se le han formulado, cuáles han sido las respuestas dadas por el alumno, y si éstas son o no correctas.

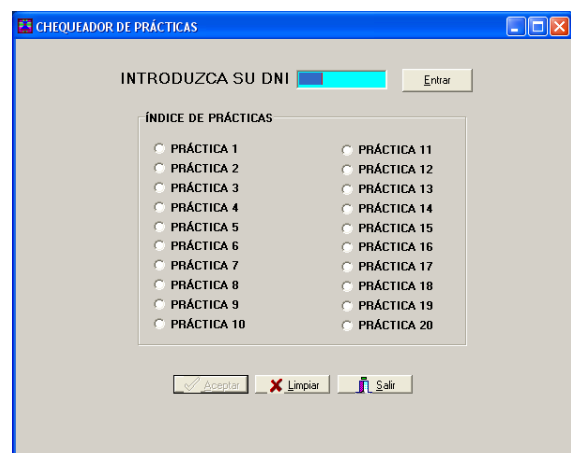


Figura 2. Pantalla de acceso al programa.

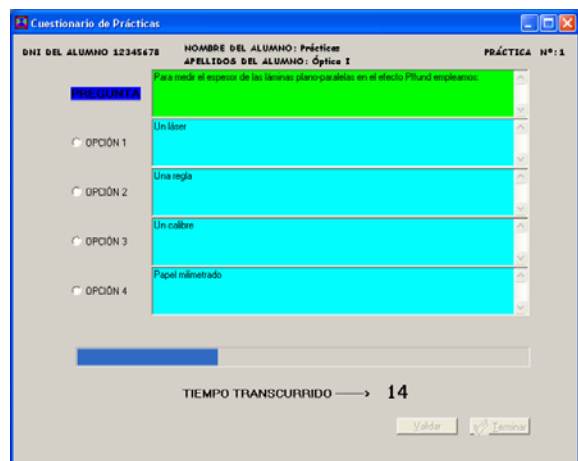


Figura 3. Pantalla correspondiente a una pregunta perteneciente a la práctica 1.

### 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Describiremos en primer lugar los resultados del test de autoevaluación realizado por los 141 alumnos, y, seguidamente, los de una encuesta de opinión pasada a los alumnos.

La Figura 4 muestra la media y desviación típica de aciertos obtenidos por los alumnos en cada una de las 8 prácticas. El porcentaje medio de aciertos fue del 78.9% (desviación típica de 10.3%, indicada por las barras de error), que consideramos bastante alto: en promedio, casi 8 de cada 10 preguntas realizadas, son correctamente respondidas. En nuestra opinión, sería incorrecto atribuir este alto porcentaje de aciertos a que las preguntas de nuestra base de datos son demasiado sencillas, pues dichas preguntas se elaboraron muy cuidadosamente, y tendiendo a criterios de excelencia, a juicio de profesores especialistas en la materia.

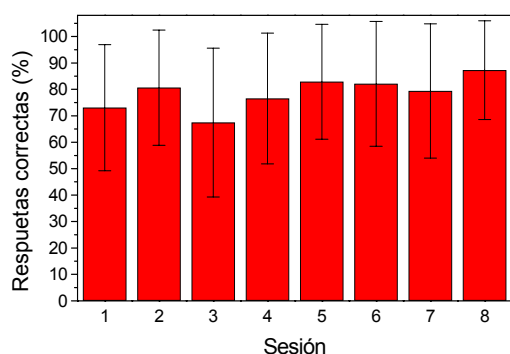


Figura 4. Porcentaje de respuestas correctas en cada una de las 8 sesiones prácticas.

También es destacable en la Figura 4 que la media y desviación típica del porcentaje de aciertos es muy similar en todas las prácticas, lo que puede interpretarse como que para el alumno todas las prácticas (y/o las correspondientes preguntas de la base de datos) entrañan una dificultad similar. El mínimo porcentaje de aciertos (67.5%) corresponde a la práctica 3, quizá porque resulta demasiado densa para el alumno al incluir 4 técnicas diferentes de medida de focales. El máximo porcentaje de aciertos (87.3%) correspondió a la práctica 8 (aberraciones y limitación de rayos), quizá por su carácter básicamente cualitativo.

La Figura 5 muestra el porcentaje de alumnos por intervalos de 10% en 10% de respuestas correctas. Como se observa el porcentaje de alumnos con una frecuencia de aciertos inferior al 50% (o sea, los que podríamos denominar en principio "suspensos") es inferior al 2%. Es también destacable que con un porcentaje de aciertos superior al 70% tenemos a más del 80% de los

alumnos. En nuestra opinión estos buenos resultados son principalmente atribuibles a que los alumnos han realizado las prácticas de este curso con gran interés y aprovechamiento, lo que constituía el objetivo principal de este Proyecto.

Puesto que éste es el primer año que se utiliza este procedimiento de autoevaluación, no es posible hacer una comparación directa con resultados previos. En todo caso puede apuntarse que, si la evaluación de las prácticas la hiciéramos solamente a partir de los resultados del test de autoevaluación (cosa que no ocurre, pues en realidad calificamos además dos informes de prácticas que pedimos a cada alumno, y un pequeño examen final escrito), el porcentaje de suspensos de este curso sería inferior al 2% y por tanto menor que el de cursos anteriores.

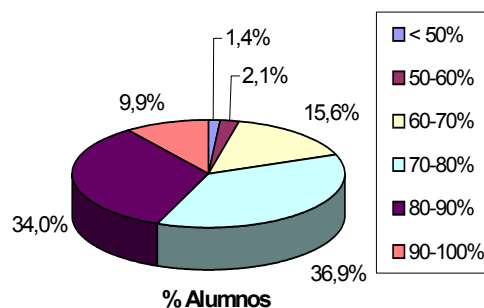


Figura 5. Distribución de los alumnos según el porcentaje de respuestas correctas.

Nos ha parecido también interesante conocer la opinión de los alumnos respecto a diversos aspectos del test de autoevaluación objeto de este Proyecto, mediante la realización en la última sesión de prácticas de cada grupo de una encuesta individual y anónima. Respondieron a la encuesta un total de 130 alumnos. Se advirtió a los alumnos que el objetivo de esta encuesta de opinión era estudiar posibles mejoras del sistema de autoevaluación que habíamos empleado en este laboratorio, y no evaluar al profesorado o las prácticas de laboratorio, cosa que ya se realiza mediante otras encuestas. La encuesta que diseñamos tenía 8 preguntas, puntuables de 0 a 10 (0 suele indicar generalmente aspectos de tipo negativo). El texto de la encuesta era el siguiente:

Puntúe con números enteros cada pregunta. Gracias por su colaboración.

1.- El manejo del programa informático es: Muy difícil (0) – Muy fácil (10).

2.- Las preguntas que se hacen se relacionan con el contenido de los guiones y el trabajo desarrollado en el laboratorio: Nada (0) – Mucho (10):

3.- Las preguntas que se hacen son: Muy difíciles (0) – Muy fáciles (10):

4.- El tiempo (45 s) para responder cada pregunta es: Muy corto (0) – Muy largo (10)

5.- Con este sistema el aprovechamiento de las prácticas de laboratorio mejora: Nada (0) – Mucho (10):

6.- Este sistema de autoevaluación resulta: Muy estresante (0) – Nada estresante (10):

7.- Para mejorar el aprendizaje, ¿convendría aplicar este sistema a las prácticas de otras asignaturas?: Nunca (0) – Siempre (10):

8.- Globalmente qué calificación le daría a este intento de mejorar la docencia práctica de laboratorio de la asignatura Optica I: Muy mala (0) – Muy buena (10).

La Figura 6 muestra la puntuación media y desviación típica (barras de error) para cada pregunta de la encuesta.

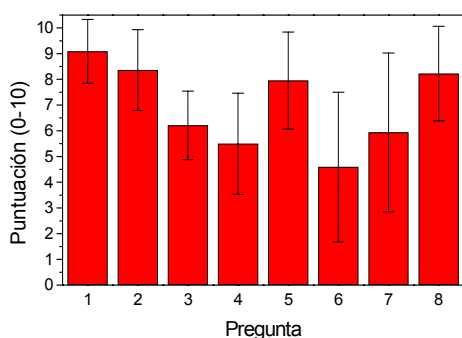


Figura 6. Resultados medios del cuestionario sobre el test de autoevaluación pasado a los alumnos.

Según estos resultados, cabría hacer los siguientes comentarios y reflexiones:

Item n.1. La puntuación media de 9.1 es muy elevada y la desviación típica (1.2) es la más baja de todas las preguntas. Puede concluirse que el programa informático realizado es de muy fácil manejo para los alumnos, como se pretendía.

Item n.2. Se obtiene de nuevo una puntuación media muy elevada (8.4), con una baja desviación típica (1.6). Este resultado “recompensa” de alguna forma el notable esfuerzo que realizaron los profesores de la asignatura para construir la base de datos de preguntas.

Item n.3. La puntuación media (6.2) es moderadamente alta, y la desviación típica bastante baja (1.3), lo que indica bastante unanimidad en las

respuestas. Este resultado de opinión de los alumnos parece confirmar la opinión de los autores, antes citada, de que las preguntas de la base de datos no son en absoluto triviales.

Item n.4. Este resultado (media 5.4, desviación típica 2.0) parece indicar que es bastante correcto el tiempo máximo de respuesta de 45 s que hemos asignado a cada pregunta.

Item n.5. Según la puntuación media (8.0), se podría concluir que los alumnos opinan que el test de autoevaluación mejora “considerablemente” (aunque no “muy” considerablemente) la enseñanza de laboratorio de Optica I.

Item n.6. Es la pregunta del cuestionario que puntúa mas bajo (media de 4.6), y también la que tiene una de las mayores desviaciones típicas (2.9). Los autores sabíamos a priori que este sistema podía resultar algo “estresante” para algunos alumnos. Nos gustaría que el valor intermedio que refleja la puntuación obtenida fuese simplemente el reflejo del lógico y normal estrés del alumno ante cualquier prueba de evaluación.

Item n.7. Se obtiene una puntuación moderadamente alta (media de 5.9) con una alta dispersión de opiniones (desviación típica de 3.1). A pesar de que sabíamos que el alumno de primer curso tiene poca perspectiva para responder a esta pregunta, decidimos incluir esta pregunta para conocer su opinión. Es muy posible que algunos alumnos puntúen a la baja, movidos por un cierto instinto defensivo (bastante comprensible, por cierto), pues no es raro el caso del alumno que valorando la siguiente pregunta con la máxima puntuación, otorga en ésta la mínima.

Item n.8. El resultado altamente positivo en esta última pregunta (media de 8.1) y su relativamente baja dispersión (desviación típica 1.8) nos resulta especialmente alentador.

#### 4.- CONCLUSIONES

Valoramos muy positivamente los resultados del Proyecto de Innovación Docente descrito en este trabajo, principalmente por las 4 razones siguientes:

- Los buenos resultados académicos logrados por nuestros alumnos (Figuras 4 y 5);
- Los resultados de la encuesta de opinión de los alumnos (Figura 6);
- El importante intercambio de opiniones y experiencias que ha supuesto este Proyecto para un grupo de profesores interesados en mejorar la calidad de la docencia;
- La posibilidad de que otros profesores puedan aplicar fácilmente este método en otras asignaturas y

Titulaciones, con la ayuda del programa informático elaborado.

largo del tiempo, y a los que se afanan día a día por impartir en ellos una docencia de mayor calidad.

Pensamos que este método de autoevaluación puede seguir aplicándose el próximo curso académico en nuestro laboratorio de Óptica I. Obviamente pensamos también que es posible mejorar aún más este ensayo de innovación docente, que constituye simplemente un método más (no el único, ni tampoco el mejor) dentro de la difícil tarea de mejorar el aprendizaje de los alumnos. En este sentido, tendremos en cuenta las siguientes sugerencias de mejora, procedentes de nuestros alumnos y de nuestra propia experiencia:

- Que el programa indique al alumno cuál era la respuesta correcta, si éste responde incorrectamente (actualmente sólo se indica si la respuesta dada es correcta o incorrecta).
- Que el programa muestre también el porcentaje acumulado de aciertos correspondiente a todas las prácticas que el alumno ha realizado hasta ese momento (actualmente sólo se da el porcentaje de aciertos de la práctica que acaba de evaluarse).
- Aumentar ligeramente el número de preguntas existentes en la base de datos de preguntas, y retocar la redacción de algunas de ellas.
- Revisar los guiones de prácticas existentes, adaptándolos mejor a la situación actual del laboratorio.
- Estudiar la posibilidad de incluir en la base de datos preguntas con gráficos ó imágenes (actualmente sólo se admite texto en los campos de las diversas opciones de respuesta).
- Divulgar el test de autoevaluación desarrollado para su posible aplicación en otras asignaturas y Titulaciones de la Universidad de Granada. Quizá sería también viable una difusión más amplia e incluso una potencial comercialización de este test.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Agradecemos la financiación y apoyo recibidos del Vicerrectorado de Planificación, Calidad y Evaluación Docente, y del Departamento de Óptica de la Universidad de Granada. A D. José Manuel Pontiveros Gómez y D<sup>a</sup> María Matilde Castillo Tarifa, alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la Universidad de Granada, por su apoyo en la realización del programa informático. A todos los alumnos de la Diplomatura de Óptica y Optometría de la Universidad de Granada que han participado en este estudio. Por último, nuestro reconocimiento agradecido a todos los profesores de nuestra Universidad que pusieron en marcha los laboratorios de docencia, a los que los han ido mejorando a lo