

LA SIMULACIÓN COMPUTACIONAL INCORPORADA AL APRENDIZAJE DE LA ÓPTICA FÍSICA

Hugo A. Kofman

*GIDEAF – Departamento de Física -Facultad de Ingeniería Química – UNL
Santiago del Estero 2829 – (3000) Santa Fe. Rca. Argentina
hkofman@fiquis.unl.edu.ar*

Se describe una experiencia concreta de aplicación de un software de simulación, elaborado específicamente para el estudio de la difracción por ranuras y redes con el modelo de Fraunhofer. La propuesta se viene perfeccionando mediante su aplicación en cursos regulares de la asignatura Física II de un curso universitario, habiéndose llegado a resultados interesantes mediante la utilización del software en clases teóricas y prácticas, vinculadas a una actividad experimental.

En el trabajo se detalla la metodología utilizada y se expone el resultado de una encuesta a nivel de alumnos. La misma resulta reveladora acerca de la potencialidad de este tipo de herramientas, hasta ahora no suficientemente aprovechadas, así como de los aspectos que el docente debiera tener en cuenta para obtener los mejores resultados.

An experience regarding the application of a specially designed simulation software is described. The software makes use of the Fraunhofer model to simulate diffraction phenomena in slits and gratings. This approach has been tested in undergraduate courses on Physics, in both theoretical and experimental classes. Several improvements were made through its continued use. Details of the methods and evaluation of the students performance and attitudes are presented. The results show how helpful can this method be in teaching historically difficult topics. Some hints are given for the better utilization of simulation tools in the classroom.

Introducción:

El estudio de la difracción por ranuras y redes, además de su importancia teórica, tiene una gran significación práctica debido a la utilización de las redes de difracción en distintos instrumentos que se utilizan en Física y Química. Por ejemplo, los monocromadores, espectrómetros y espectrofotómetros de diversos tipos y de variadas aplicaciones.

Se trata de un tema que resulta particularmente dificultoso para los alumnos que cursan el ciclo universitario básico, lo cual se refleja en índices relativamente elevados de errores en los exámenes. Los fracasos no se originan en el manejo de ecuaciones matemáticas complicadas, sino en errores de carácter conceptual, lo cual, a nuestro juicio, obedece a las siguientes causas:

- 1) El tema es abordado prácticamente sin haber tenido contacto con el fenómeno de difracción, salvo en forma muy indirecta, a través de la visualización de la descomposición de la luz por los discos compactos o por las holografías. Esto se pone de manifiesto si se hace una comparación con otros temas de la óptica en los cuales resulta más sencillo establecer

anclajes con cuestiones de la vida cotidiana, por ejemplo la reflexión y la refracción, así cómo su aplicación a la formación de imágenes en espejos y lentes.

2) El alumno no ha conceptualizado aún, a nivel operativo, el modelo de propagación de ondas de Huygens.

3) La expresión matemática que se deduce para describir la distribución de intensidad luminosa, no presenta un aspecto que permita formarse una idea intuitiva sobre la gráfica y sobre el patrón luminoso que aparecerá en pantalla. Esto no sólo se debe a la forma de la función, sino a la cantidad de parámetros que intervienen.

4) No es común que los laboratorios cuenten con equipamiento experimental cómo para abarcar las distintas situaciones que se pueden plantear. En ciertos casos sólo se dispone de un láser (de una sola longitud de onda) y de un juego de placas ranuradas y redes, con las cuales apenas se pueden observar algunos fenómenos en forma cualitativa.

Con el propósito de superar estas dificultades se ha desarrollado un software de simulación de carácter específico y se ha trabajado con los alumnos en cursos regulares, utilizándolo en la clase teórica y en un trabajo práctico, combinando estas actividades con un experimento de laboratorio. Para evaluar los resultados de la actividad se ha realizado una encuesta entre los alumnos, la que permite arribar a interesantes conclusiones.

El software utilizado se basa en el modelo de Fraunhofer y fue diseñado con la intención de que el alumno trabaje con el mismo de una manera intuitiva, aprovechando la capacidad gráfica y de cálculo de la computadora. Se trata de un entorno del tipo “dry laboratory” (Kirchner, 1998) en el cual el alumno no introduce ni modifica el modelo matemático, sino que observa los resultados del mismo al variar los diferentes parámetros.

La guía de actividades contiene principalmente una serie de problemas abiertos para que el alumno trabaje de manera cualitativa y cuantitativa en forma exploratoria, es decir donde sea él quien decide que tipo de parámetros debe establecer o modificar para llegar a las metas que se piden.

La encuesta con que se evaluó la actividad se orientó a establecer el grado de aceptación y motivación del alumno frente a la nueva modalidad, elementos de contexto que se consideran indispensables para lograr una situación de aprendizaje adecuada. Asimismo se realizó cierta valoración sobre contenidos, a través de la opinión de los alumnos acerca del aporte que la actividad le había realizado a su comprensión del tema

Marco teórico

Los materiales que se emplean en la enseñanza de las ciencias son un medio para promover el aprendizaje. Dentro de ellos encontramos a los textos, apuntes, exposiciones del docente, dispositivos experimentales, medios informáticos y audiovisuales, etc. Se pretende que los estudiantes construyan significados del mundo físico con la ayuda de estos materiales (Concari, S. y Giorgi, S., 1999).

Según la teoría de Ausubel, el aprendizaje significativo tiene lugar cuando el estudiante da sentido o establece relaciones entre los nuevos conceptos o nueva información y los conceptos y conocimientos existentes, o con alguna experiencia anterior. Una de las condiciones para que se produzca el aprendizaje significativo es que el material a ser aprendido sea relacionable de manera sustantiva y no literal, a la estructura cognitiva de quien aprende (Ausubel, Novak

y Hanesian, 1991). El material que posee esas características sería potencialmente significativo, es decir, factible de ser aprendido significativamente (Cámara, Giorgi, 2000).

En relación a los materiales computacionales y a su contexto educacional, es común en nuestro país hablar de Software Educativo y de Informática Educativa, aunque resultarían más adecuadas las expresiones Software para Educación e Informática en Educación, tal como se acostumbra en Brasil. Esto que parece una cuestión semántica, encierra en realidad un trasfondo conceptual: el software y la informática no educan, sino que ayudan a la educación. No pueden resolver los problemas de la enseñanza, ni tampoco generar un “nuevo paradigma educativo”. Más modestamente, deben conformarse con ser una herramienta, que como cualquier otra, facilitan la realización de una tarea. Lo principal no es la máquina, ni el software, sino la forma en que se los utiliza. Solo así esos elementos se vuelven poderosos y útiles.

Larkin y Chabay (1996), citando a otros autores (Chi, Feltovich y Glaser, Simon y Simon) explican los modos diferentes con que un “experto” y un estudiante abordan la resolución de un problema físico:

“Los alumnos (especialmente aquellos que obtienen altas calificaciones en las ciencias físicas) parecen trabajar en un ‘espacio’ psíquico de ecuaciones, tratando de recordar las ecuaciones adecuadas y de unirlos con precisión. En cambio, los expertos pasan gran parte de su tiempo de resolución de problemas en un espacio psíquico de razonamiento científico: hablan cualitativamente de fuerzas, impulsos, cambios de velocidad y de las relaciones entre ellos, sin escribir en ningún momento una ecuación” (el subrayado es nuestro)

La diferencia entre ambas formas de razonar está basada en el distinto nivel de desarrollo de los modelos mentales sobre el fenómeno en cuestión. El “experto”, antes de escribir ecuaciones razona en forma cualitativa, es decir, se imagina la solución del problema, lo cual realiza a través de su modelo mental. En cambio al estudiante, que aún no tiene completamente desarrollado el modelo mental del fenómeno, no le queda otra alternativa que la de abordar la solución mediante la aplicación directa de las ecuaciones. Sabemos que los resultados obtenidos, de esta última forma, no siempre son correctos.

Lo expuesto anteriormente fundamenta la importancia que tiene la realización de actividades de aprendizaje que promuevan el análisis cualitativo de los fenómenos físicos por parte del alumno. Se podría agregar a esto la potencialidad de aquellas propuestas que además tengan un soporte visual importante, y que sean capaces de generar motivación y promover actividades colaborativas entre los alumnos. Todos estos aspectos deben ser contemplados a la hora de elaborar un software para educación y sobre todo cuando se diseñan las actividades a desarrollar con esa herramienta.

Las actividades de enseñanza y aprendizaje con ayuda del software

En el tema abordado, se han desarrollado las primeras actividades con grupos de alumnos “voluntarios”, luego se trabajó en clases de trabajo práctico, en una sala con varias computadoras, con cuatro alumnos por máquina, y finalmente se agregó el uso de la simulación en la clase teórica. Para ello se requiere un proyector de pantalla y el pizarrón tradicional en el cual se desarrollan las explicaciones del modelo y se demuestran las expresiones correspondientes a los fenómenos en estudio.

A la clase teórica, se ha llevado un pequeño láser, de los que se venden en los kioscos, y una red de difracción, con ayuda de los cuales se mostró cómo la luz se desvía y forma picos de

intensidad cuando pasa a través de ésta. A partir de allí se utilizó el modelo de Huygens de propagación de ondas para explicar y demostrar las expresiones de la difracción por una ranura. Se realizó el análisis funcional y se utilizó el software para mostrar cómo se modificaba la figura de difracción al variar el ancho de ranura y la longitud de onda de la luz. El software representa el patrón luminoso en el color que corresponde a la longitud de onda y muestra la curva de Intensidad en función del seno del ángulo de desviación, tal como se observa en la Figura 1:

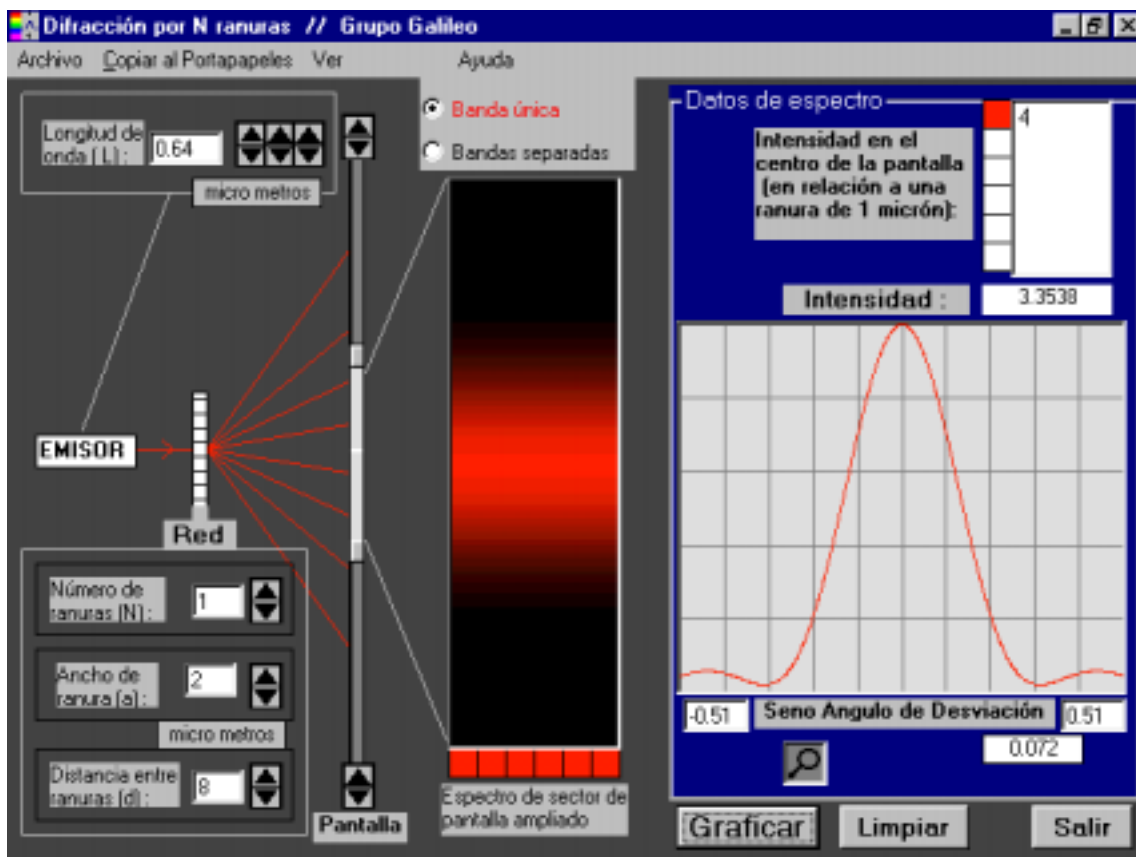


Figura 1: Pantalla principal del Software mostrando la difracción por una ranura.

A continuación se abordó el estudio de la interferencia por N ranuras muy delgadas (de ancho menor que la longitud de onda), de modo que la difracción produjera una distribución casi uniforme y se pudiera estudiar el fenómeno de interferencia por separado. Luego de deducir la expresión general, se la estudió para el caso de dos ranuras (Experimento de Young), y luego para tres y más ranuras. Las figuras mostradas con el software se obtuvieron para distintas cantidades de ranuras, diferentes distancias entre ellas y varias longitudes de onda.

Se observa perfectamente la aparición de los máximos secundarios a partir de tres ranuras, y cómo los máximos principales se van haciendo cada vez más intensos y delgados a medida que se aumenta el número de ranuras. En la figura 2 podemos observar estas figuras para 8 ranuras.

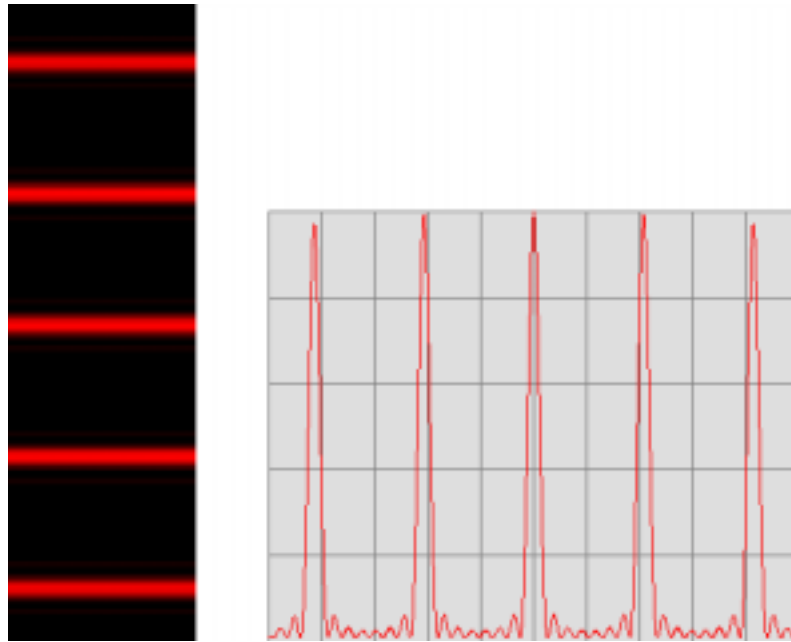


Figura 2: Interferencia a través de 8 ranuras muy delgadas.

El desarrollo de la clase continúa con el estudio combinado de los dos fenómenos tratados con anterioridad, es decir, considerando la interferencia de N ranuras con anchos superiores a la longitud de onda. De esta forma se superponen los patrones de interferencia y difracción.

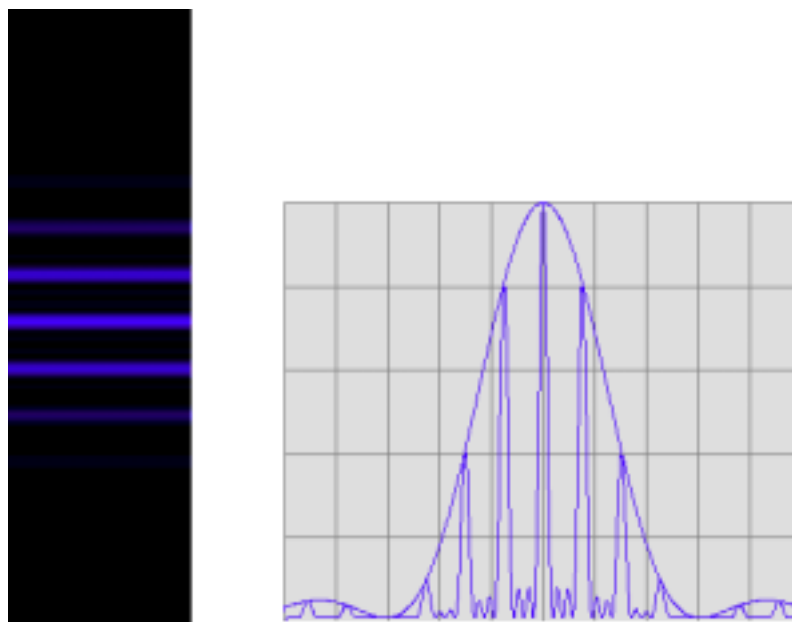


Figura 3: Difracción e interferencia de cuatro ranuras.

En la figura 3 pueden observarse las gráficas para cuatro ranuras de 2μ de ancho, distanciadas 8μ , cuando se iluminan con una luz monocromática de $\lambda = 0,451 \mu.$, a la que se ha superpuesto la curva de difracción por una ranura para visualizar el efecto de modulación o de

envolvente de esta última. En la gráfica se ve cómo el máximo de interferencia de orden 4 es anulado por el primer mínimo de difracción.

Aumentando el número de ranuras se llega a la red de difracción, en la cual los máximos secundarios prácticamente desaparecen y los picos de interferencia se hacen muy delgados e intensos, lo cual es observado en el patrón y en la gráfica del software.

Se estudió a continuación el comportamiento de una red de difracción cuando es iluminada con luz policromática, prediciéndose la aparición de los espectros de colores en distintos órdenes. Esto se puede visualizar en la simulación a través de la superposición de una serie de luces monocromáticas, tal como se observa en la figura 4. En la misma se puede observar el máximo central, de orden 0 en el que se recompone la luz blanca y dos espectros hacia cada lado. Se nota que en segundo orden, el espectro está más extendido pero tiene menos intensidad.

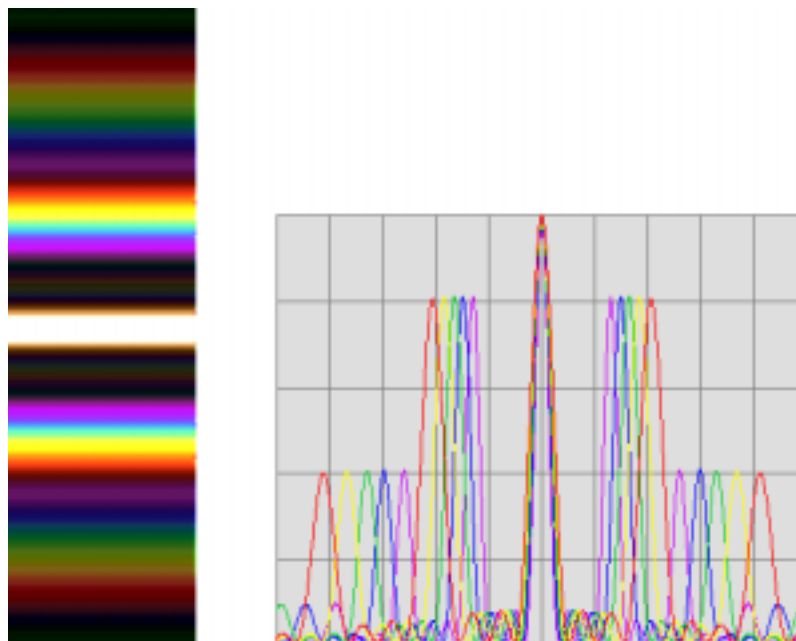


Figura 4: Simulación de un espectro de luz blanca en una red.

Finalmente se abordó el estudio del poder de resolución de una red de difracción, lo cual se facilitó considerablemente con la simulación.

En la figura 5 vemos la gráfica correspondiente a dos longitudes de onda muy próximas, las cuales aparecen superpuestas en el primero y segundo orden, y separadas en el tercero y cuarto orden. Estos resultados coinciden con los cálculos realizados aplicando el criterio de Rayleigh.

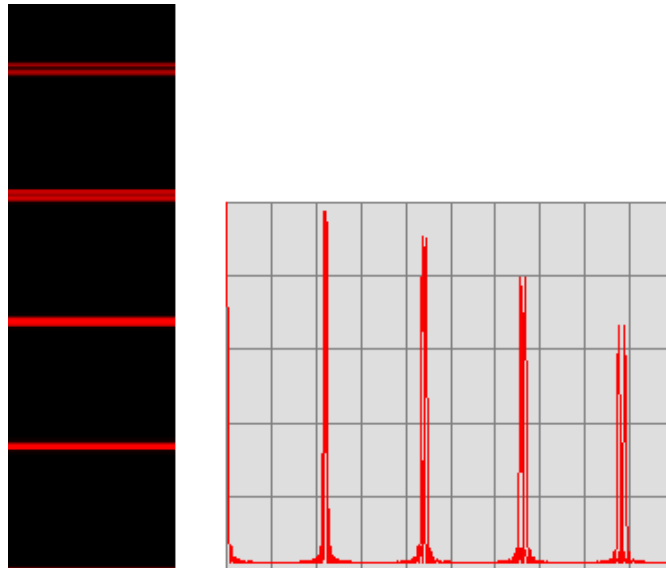


Figura 5: Patrón y gráfica de intensidades para dos longitudes de onda muy próximas.

En la Figura 6 observamos una ampliación (“zoom”) de los máximos de segundo, tercero y cuarto orden. Con ayuda de la misma puede entenderse perfectamente el criterio de Rayleigh para establecer la condición límite para la resolución de dos líneas espectrales.

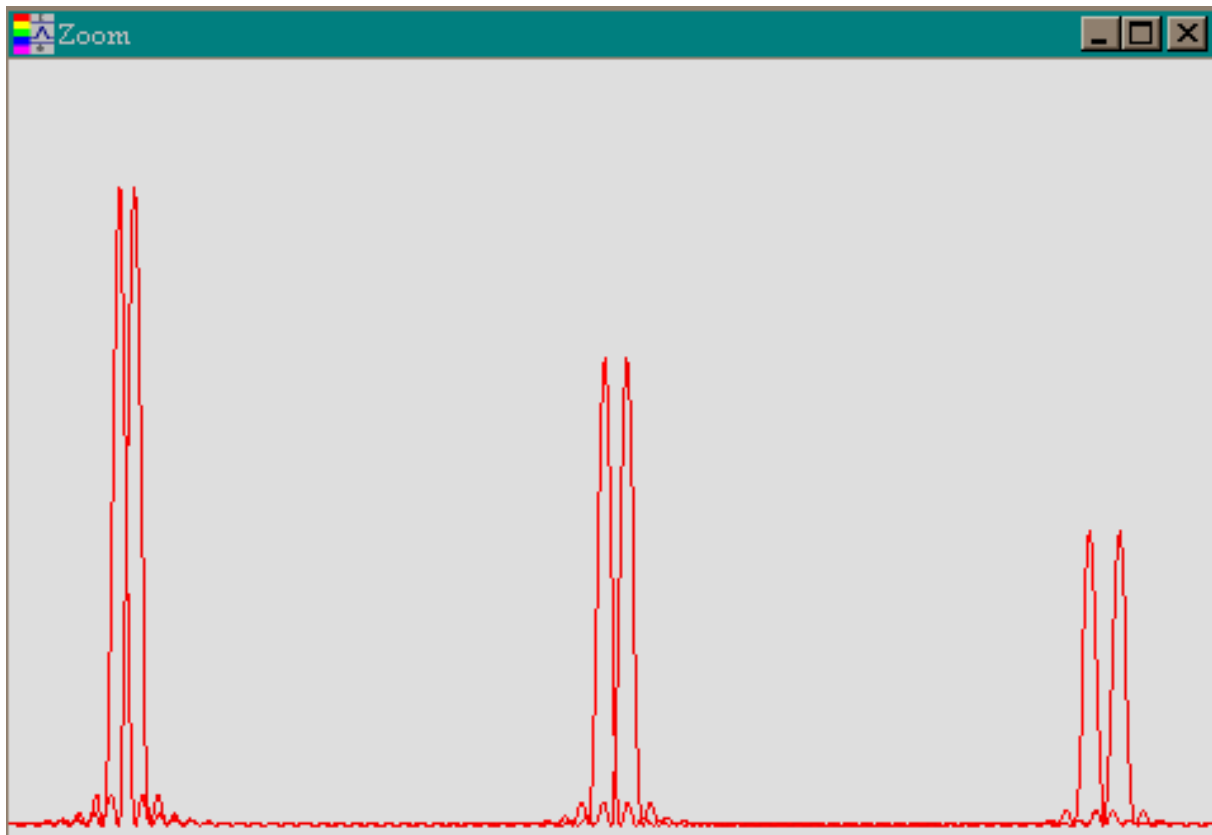


Figura 6 : Ordenes segundo, tercero y cuarto de la gráfica anterior.

Actividad práctica realizada en el tema

A posteriori de la exposición teórica se realizó una clase práctica. En la primer parte de la misma se obtuvieron algunas curvas de difracción por una y dos ranuras, utilizando un sensor óptico que se desplazaba en un registrador. Las ranuras fueron iluminadas con un laser de He-Ne. En esa misma sesión, los alumnos trabajaron con la simulación, respondiendo a las preguntas formuladas en una guía de actividades.

Las preguntas, en su mayor parte, son de carácter abierto. En las mismas se plantea llegar a ciertas metas a través de una actividad exploratoria, en la que se vincula la teoría con la simulación. Los problemas se adaptaron a la particularidad del grupo de alumnos, y son lo suficientemente abiertos como para permitir la decisión creativa de los alumnos, pero definidos como para que el alumno pueda conocer los objetivos a los que debe direccionar sus acciones.

Por ejemplo:

1) Analice en forma **cuantitativa** la influencia del **Ancho de Ranura** y de la **Longitud de Onda** de la luz incidente (monocromática) en el patrón de difracción de una ranura, utilizando el software. Compruebe la expresión que relaciona el ancho de ranura (a) con la posición angular ($\sin \theta$) de los mínimos de difracción.

2) Un haz de luz monocromática, de $\lambda = 0.7$ micrones incide en forma perpendicular sobre una placa con una ranura muy delgada. A dos metros, y ubicada paralelamente a la misma, se encuentra una pantalla en la que se forma la figura de difracción. La distancia entre el centro y el primer mínimo es de 10 cm.

a) Calcular el ángulo correspondiente a ese mínimo y el ancho de la ranura que se requiere. Verificar con el software.

b) Calcular la intensidad relativa al centro de la pantalla, de un punto que está a 2.5 cm de dicho centro utilizando la expresión teórica. Verificar con el programa.

.....

6) Para una red de 30 ranuras iluminadas, encuentre por simulación dos longitudes de onda cuyos máximos de interferencia aparezcan resueltos en el segundo orden, pero no en el primero, de acuerdo al criterio de Raigleigh. Fundamente con las expresiones correspondientes y compruebe por simulación.

....

Evaluación de la actividad

El diseño didáctico se analizó en primer lugar desde un punto de vista cualitativo, a través de la observación de las clases, del modo en que trabajaron los alumnos y de sus expresiones orales. En este aspecto, se obtuvo una visión favorable, en cuanto a la motivación y a la dinámica de equipo. Algunos grupos presentaban dificultades considerables en cuanto a la interpretación de las consignas, lo cual se debía en parte a la falta de hábito con la modalidad de aprendizaje, que plantea un importante nivel de autonomía, y por otro a falta de elementos teóricos sobre el tema específico.

A posteriori, se hizo una encuesta a los alumnos que de una u otra manera participaron en clases con el software, cuyos resultados se dan en la tabla siguiente. Se ha dividido el conjunto en dos grupos, uno que participó en la clase teórica y otro que participó sólo en la clase práctica.

Población:

Muestra:

Participaron en la clase teórica :

Le facilitó la comprensión del tema:

Aplicaron el Software en el Trabajo Práctico :

Le facilitó la comprensión del tema :

Cómo le resultó la actividad?:

Interesante :

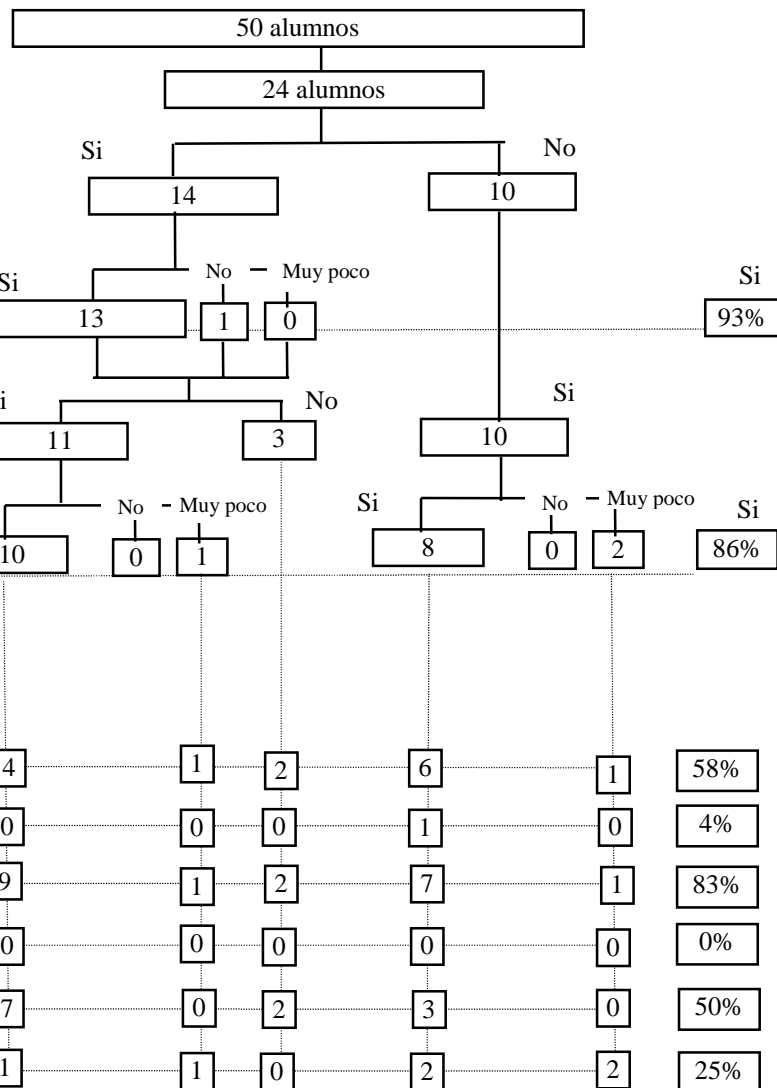
Aburrida :

Software fácil:

Software difícil

Guía Comprensible

Guía difícil de interpretar



Opiniones o sugerencias finales:

- Guía muy extensa o Falta de tiempo: 4
- Comentarios favorables: 5
- Pedido de Software para otros temas: 1

Evaluación de la encuesta y conclusiones:

En el caso que nos ocupa, interesa conocer la utilidad del método o herramienta de enseñanza, sus puntos fuertes y sus puntos débiles. ¿ Que ocurriría si sólo el 20 o el 30% de los alumnos la evalúa como favorable, mientras que el otro 70 u 80% se muestra crítico o indiferente frente a la misma? ¿ Bastaría eso para probar que la herramienta no es adecuada?. Pensamos que se podrían realizar otras interpretaciones: si la herramienta es útil para un 30 %, podría usarse como opcional, dando la posibilidad de que la use un sector, mientras que el otro realice otras

actividades. También se podría profundizar el análisis, realizar ciertas modificaciones y volver a hacer una evaluación posterior, con otros grupos, en otras condiciones.

No es este el caso con que nos encontramos. Se observa aquí una gran mayoría que considera que el método le ayudó en el aprendizaje del tema. Se percibe también que ese porcentaje aumenta para aquellos alumnos que concurrieron a la clase teórica, lo cual se refleja luego en la respuesta frente a la misma pregunta en relación a la clase práctica. De igual modo, quienes participaron en la clase teórica tuvieron luego menos dificultades con la guía de trabajos prácticos. El porcentaje que lo considera “interesante” es elevado (58%), pero no se trata de una gran mayoría.

Un importante porcentaje (25%) manifestó problemas de interpretación de la guía de trabajo práctico. La mayor parte de este sector (20% del total) corresponde a alumnos que no participaron en la clase teórica, de modo que las dificultades que tuvieron pueden considerarse debidas a que trabajaron en la clase práctica sin conocer prácticamente nada sobre la teoría del tema.

En general, podemos concluir que la actividad fue bien recepcionada por los alumnos, y que ellos consideran que la misma les facilita el estudio del tema.

Bibliografía:

- AUSUBEL, D., NOVAK, J. y HANESIAN, H. 1991. *Psicología Educacional, un punto de vista cognitivo*. 5ta. Reimpresión. (México. Trillas).
- CÁMARA, CRISTINA y Giorgi, Silvia, (Uruguay, 2000). Una propuesta para el estudio de sistemas en movimiento simultáneo de rotación y traslación usando la computadora en el laboratorio de física. V Encuentro Internacional de Educación en Física.
- CONCARI, S. y Giorgi, S. 1999. La Potencialidad Significativa de los Modelos Explicativos. *Memorias REF XI*, 168-173.
- HECHT, EUGENE; ZAJAK, ALFRED (EEUU, 1986). *Optica*. Addison-Wesley Iberoamericana.
- KIRCHNER, Paul and HUISMAN, Willibrord, 1998, ‘Dry laboratories’ in *science education; computer practical based work*, INT. J. SCI. EDUC, 1998, Vol 20, Nro. 6, 665-682.
- LARKIN, HILL H., CHABAY, RUTH W. (Madrid 1996), “La Investigación sobre la enseñanza del pensamiento científico: implicaciones para la enseñanza basada en computadoras”. Recopilación de Resnick, Lauren B. y Klopfer Leopold E, “Curriculum y cognición”. AIQUE.