

Una experiencia de utilización de simulaciones informáticas en la enseñanza secundaria

MIGUEL CAÑIZARES MILLÁN
IES Juan de la Cierva. Totana (Murcia)

Resumen:

En este artículo se muestra una propuesta de enseñanza, basada en el uso de simulaciones por ordenador, para un tema de ondas en educación secundaria. Se describe su aplicación con alumnos de 4º de la ESO y se analizan los resultados obtenidos en lo referente al aprendizaje de los alumnos; también se reflexiona sobre las diferencias respecto a la enseñanza tradicional.

Palabras clave:

propuesta de enseñanza ; simulaciones por ordenador ; ondas ; aprendizaje de los alumnos; educación secundaria.

Summary:

This article presents a teaching suggestion, based in the use of computer simulations, for a topic of waves in secondary education. We describe its application in the level of 4º ESO, and we analyse the results about the students learning; also we consider the differences between this way of teaching and the traditional teaching.

Key words:

teaching suggestion ; computer simulations ; waves ; students learning; secondary education.

1. Introducción

En la enseñanza de la Física es necesario introducir gran cantidad de conceptos y fenómenos, controlados por variables espaciales y temporales, cuya captación plena por parte de los alumnos resulta francamente difícil, sobre todo cuando no se dispone de la posibilidad de visualización animada del fenómeno en cuestión, sino únicamente de la visión estática que se pueda realizar en la pizarra. Estas dificultades, junto a otras intrínsecas de la Física, hacen que sea generalmente considerada por los alumnos como una materia árida y difícil, y desgraciadamente con demasiada frecuencia, les lleva a un aprendizaje no significativo; es

decir, a un conocimiento absurdo de fórmulas y rutinas matemáticas, sin comprender realmente el proceso físico que esas ecuaciones describen.

El uso de las nuevas tecnologías informáticas abre grandes posibilidades de atenuar las dificultades apuntadas en el párrafo anterior. En la última década se han desarrollado bastantes programas informáticos de uso didáctico, de los cuales nos parecen más interesantes aquellos que, no sólo hacen posible visualizar un fenómeno físico en la pantalla del ordenador, sino que además permiten interactuar con él. Con este tipo programas, denominados genéricamente *simulaciones informáticas*, el usuario puede modificar variables, predecir resultados, realizar medidas, etc, permitiendo una auténtica experimentación simulada con aspectos que serían difíciles de reproducir realmente en los laboratorios escolares. De este modo, el monitor del ordenador puede convertirse en una *pizarra animada e interactiva*, que suponga una eficaz ayuda para conseguir que los alumnos adquieran un conocimiento significativo.

Por otra parte, en los últimos años han proliferado en Internet los llamados *applets*, que son pequeños programas interactivos, escritos en lenguaje Java. Muchos de ellos son simulaciones de fenómenos físicos, a los cuales algunos autores llaman *fislets*. El uso de Internet, por añadidura, facilita gratuitamente el acceso a esa gran cantidad de simulaciones informáticas sobre los más diversos y variados aspectos del currículo de Física, precisamente, algunas de ellas las hemos utilizado en el presente trabajo.

Tenemos la intuición de la gran potencialidad didáctica que presentan las simulaciones informáticas para la enseñanza de la Física. No obstante, creemos que no basta con utilizarlas de cualquier modo, sino que queda mucho por hacer hasta saber cómo insertarlas en una metodología que las incluya eficazmente. La enseñanza por descubrimiento siempre ha tropezado con las dificultades prácticas de las experimentaciones, quizás las simulaciones pueden convertir al ordenador en un auténtico laboratorio virtual, facilitando el cambio de paradigma en el proceso enseñanza-aprendizaje al promover la idea de aprender investigando.

Existen trabajos en los que se reflexiona sobre las posibilidades de la enseñanza con ordenador (Valdés y Valdés, 1994; 1999; Franco, 2003; Bohigas y otros, 2003). Otros muestran propuestas de enseñanza que usan esta herramienta didáctica, por ejemplo para la resolución de problemas con el paquete MICROLAB (Gómez-Crespo, 1994). Pero especialmente nos interesan, y son muy escasos, los que muestran expe-

riencias con alumnos que usan simulaciones (Massons y otros, 1993; Martínez-Jiménez y otros, 1994; Sierra, 2003).

Creemos conveniente experimentar con estudiantes el uso de las simulaciones en diversas zonas del currículo de Física, para comprobar sus efectos positivos, así como sus inconvenientes. Nuestro trabajo se inscribe en esta línea y consistió en impartir una unidad didáctica, la de *Ondas, Luz y Sonido* del currículo de 4º de ESO, utilizando las simulaciones informáticas como base fundamental del aprendizaje de los alumnos.

2. Problemas de la investigación

Nos planteamos esta experiencia como una primera aproximación a dar respuestas a preguntas del tipo: ¿cómo utilizar las simulaciones eficazmente para la enseñanza?; ¿qué preparativos deben hacerse?; ¿qué tipo de dificultades plantea su uso?; ¿cómo reaccionan los alumnos ante las simulaciones?; ¿se produce en ellos aprendizaje autónomo?....

En suma, se trataba de una toma de contacto con la realidad, al experimentar el uso de esta nueva herramienta para la enseñanza de la Física en secundaria. Básicamente nuestro problema de la investigación era el siguiente:

¿Qué efecto provoca una propuesta metodológica que usa simulaciones para enseñar la unidad didáctica de "Ondas, Luz y Sonido" en el nivel de 4º de ESO?

Por supuesto que las diferencias con respecto a la enseñanza tradicional pueden ser de todo tipo: en lo referente a la metodología que se debe seguir, a los materiales que se deben elaborar, a los inconvenientes que pueden surgir, etc. Nosotros, en un tiempo que ha sido muy limitado, nos centramos de forma parcial en el aprendizaje académico, desglosando el problema anterior en las siguientes preguntas:

- a) *¿Qué conocimientos iniciales tenían los alumnos?*
- b) *¿Cómo diseñar una propuesta de enseñanza con simulaciones?*
- c) *¿Qué efectos produce en el aprendizaje de los alumnos?*

3. Revisión bibliográfica

Exponemos dos cuadros en los que se muestran, por orden cronológico, algunas aportaciones bibliográficas relacionadas con nuestro trabajo. Así, en el cuadro 1 están las relacionadas con el uso del ordenador en la enseñanza, en general. En el cuadro 2 se encuentran las relacionadas con la enseñanza de las ondas, luz y sonido. En la columna que indica el tipo de trabajo utilizamos los siguientes códigos:

- Revisión bibliográfica. (RB)
- Reflexión teórica. (RT)
- Propuesta concreta de enseñanza para aplicar a los alumnos. (EA)
- Investigación de propuesta con los alumnos. (IA)
- Exploración diagnóstica.(ED)

Cuadro 1

Trabajos relacionados con el uso del ordenador en la enseñanza

Autor y año	Contenido del trabajo	Tipo
Bautista (1987)	Revisión bibliográfica sobre informática y educación.	RB
Massons y otros (1993)	Experimentación con alumnos de 1º curso universitario el uso del programa de simulación de un campo eléctrico generado por cargas puntuales	IA
Martínez Jiménez y otros (1994)	Propuesta de enseñanza con alumnos de 1º curso universitario de programa interactivo, desarrollado por el autor, sobre tiro parabólico con rozamiento.	EA
Gómez Crespo (1994)	Experiencia con alumnos de 3º de BUP, usando el programa MICROLAB para resolver problemas de electricidad.	IA
Herrán y Parrilla (1994)	Propuesta de enseñanza de utilización del ordenador, con los sensores adecuados, para procesar los datos recogidos en experiencias reales.	ET
Valdés y Valdés (1994)	Se exponen diversas utilidades posibles del ordenador en la enseñanza de las ciencias.	RT
Tobin (1999)	Se exponen ventajas de Internet como elemento de comunicación y conexión para la enseñanza de las ciencias.	RT
Valdés y Valdés (1999)	Reflexión sobre el objetivo de la educación científica. El uso del ordenador puede resultar muy útil a dicho objetivo.	RT
Pontes (1999)	Muestra los posibles usos de la informática en la enseñanza de las ciencias y las dificultades que plantea su uso.	RT
Lowy (1999)	Reflexión sobre los usos de Internet en la enseñanza de las ciencias: búsqueda de información, comunicación a través del correo electrónico, etc.	RT

Parejo (1999)	Reflexión sobre las posibilidades de Internet como medio de comunicación. Muestra el proyecto Science across Europe, como noticiero y medio de fácil acceso.	RT
Cortel (1999)	Se describen aplicaciones del ordenador como sistema de adquisición y tratamiento de datos, con los sensores adecuados en experiencias de laboratorio.	RT
Garrido y otros (2001)	Se presenta un programa informático que permite visualizar y manipular modelos moleculares tridimensionales. Se informa de una página Web en castellano donde se ha instalado Chime y cómo utilizarla con los alumnos.	EA
Linn (2002)	Sugiere la utilización de la red para crear entornos de aprendizaje de las ciencias. Por ejemplo el Web-based Inquiry Science Environment (WISE)	RT
Bohigas y otros (2003)	Se exponen las características de los applets y algunas orientaciones sobre cómo utilizarlos en la enseñanza de la Física.	RT
Franco (2003)	Expone las ventajas de la utilización de las simulaciones para la enseñanza de la Física. Presenta su curso interactivo: "Física con ordenador".	RT
Sierra (2003)	Experiencia e investigación con alumnos de Bachillerato de una propuesta de enseñanza con simulaciones, en temas de mecánica, utilizando los programas: Dinamic, Mobile e Interactive Physics..	IA.
Esquembre y otros (2004)	Se expone cómo pueden crearse o modificarse los fislets con la utilización de java-scripts, y sugerencias de utilización en la enseñanza de la Física.	RT
Ursini y otros (2004)	Experiencia mejicana con alumnos, entre 12 y 15 años, del uso de ordenadores para enseñar matemáticas, detectando diferencias de género.	IA
Mentxaca (2004)	Se describe lo que es una web-quest: actividades preparadas para que los alumnos investiguen a partir de informaciones de Internet sobre una pregunta abierta.	EA

Cuadro 2

Trabajos relacionados con la enseñanza de ondas, luz y sonido

Autor y año	Contenido del trabajo	Tipo
Perales (1997)	Identificación de las preconcepciones de los alumnos sobre acústica y sus implicaciones didácticas.	ED
Caballero y Soler (1998)	Se presenta una serie de experiencias sencillas relacionadas con la luz y sus propiedades, utilizando una cubeta de fabricación casera y un puntero láser-diodo. Se propone una metodología de utilización.	EA
Saura y De Pro (1999-a)	Identificación de los esquemas conceptuales de alumnos de secundaria en la interpretación de aspectos relacionados con el sonido.	ED

Saura y De Pro (1999-b)	Propuesta constructivista de enseñanza del módulo: ondas , luz y sonido. Su experimentación con alumnos de secundaria y evaluación de resultados.	IA
Welti (2002)	Examina algunas dificultades que se tiene para interpretar mecanismos asociados a la propagación de ondas. Se analizan encuestas a docentes y alumnos de 1º curso universitario.	ED
Perales (2003)	Ubicación del aprendizaje del sonido en la ESO. Aspectos interdisciplinarios y algunas recomendaciones para el profesorado.	RT
Carcavilla y Puey (2003)	Muestra las dificultades principales de aprendizaje de la óptica geométrica, basándose en un estudio previo realizado por los autores.	ED
De Pro y Saura (2003)	Exposición de la puesta en práctica de una propuesta de enseñanza sobre los conceptos generales de las ondas mecánicas, en la ESO. Descripción de actividades propuestas a los alumnos y resumen de la respuesta de éstos.	EA
Valls y Segura (2004)	Muestra diversos experimentos para observar la dispersión de la luz, síntesis, etc.	EA
Cartel (2004)	Muestra experiencias realizadas con una cartulina negra y un alfiler, que permiten estudiar las lentes del ojo.	EA
Bueno y otros (2004)	Se describe el diseño, construcción (con materiales caseros) y aplicación en el aula de un aparato que permite apreciar el efecto Doppler del sonido.	EA

Cuadro 3

4. Diseño y desarrollo de la investigación

4.1. Características de la muestra.

El desarrollo de la experiencia tuvo lugar a final de curso 2003-04 (finales de mayo y principios de junio) en el IES Juan de la Cierva y Codornú de Totana (Murcia).

La muestra la componían 32 alumnos de 4º de ESO, distribuidos en dos grupos de 14 (grupo A) y 18 estudiantes (grupo B), que cursaban el itinerario que contiene la asignatura de Física y Química. La extracción socio-cultural del conjunto podríamos considerarla media-baja y el rendimiento académico medio (en la segunda evaluación obtuvieron una nota promedio de 5,2 puntos). Se trataba de una muestra estándar de alumnos, dentro de los que eligen los itinerarios de ciencias.

A los estudiantes se les informó que iban a participar de una experiencia en una nueva forma de enseñar y de aprender, y que la unidad

didáctica *Ondas, Luz y Sonido* se iba a impartir de una manera distinta, de forma que el profesor iba ahora a aprender de los alumnos. Para propiciar su interés en el proceso se les manifestó que la evaluación de esta unidad influiría en la nota pero, al ser una experiencia nueva, lo haría sólo en sentido positivo.

4.2. Diseño de la unidad didáctica

Hemos utilizado el modelo de diseño de unidades didácticas de Sánchez y Valcárcel (1993). Los preparativos y materiales que hubo que elaborar para esta experiencia fueron los siguientes:

1. Selección de los contenidos conceptuales que se deseaba transmitir en la unidad didáctica, desglosados en forma de treinta y una *afirmaciones de conocimiento*, que como veremos, se encuentran recogidas en el Cuadro 3. Algunas de esas afirmaciones podrían enunciarse de una forma más correcta y rigurosa, pero están formuladas con el grado de profundidad y rigor que se estima para el nivel al que van dirigidas (4º ESO) y, por lo tanto, tal y como se pretende que los alumnos las adquieran.

Los conocimientos a transmitir responden a los mapas conceptuales expuestos en las figuras 1, 2 y 3, donde hemos adaptado los de Saura y De Pro (1999-b), que fueron realizados con unas intenciones y en un contexto similares.

Figura 1
 Mapa conceptual sobre ondas

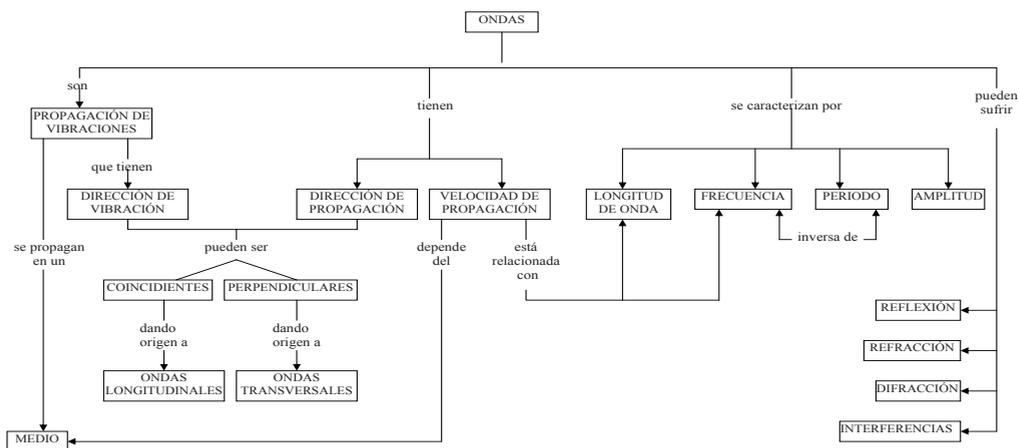


Figura 2
 Mapa conceptual sobre el sonido

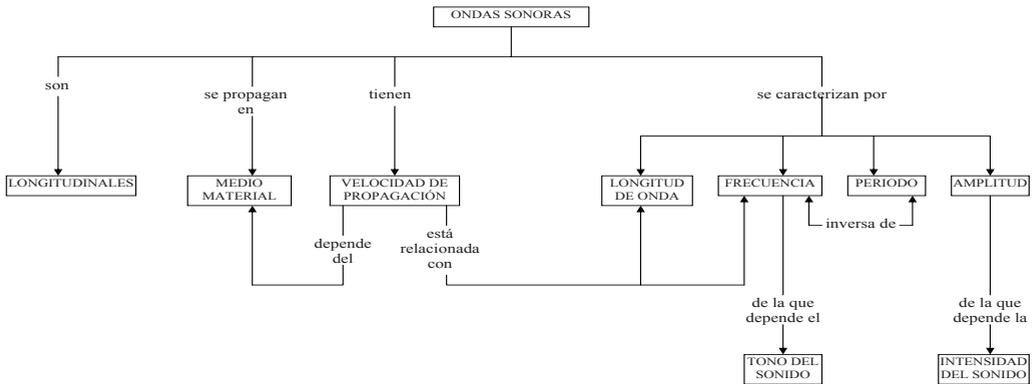
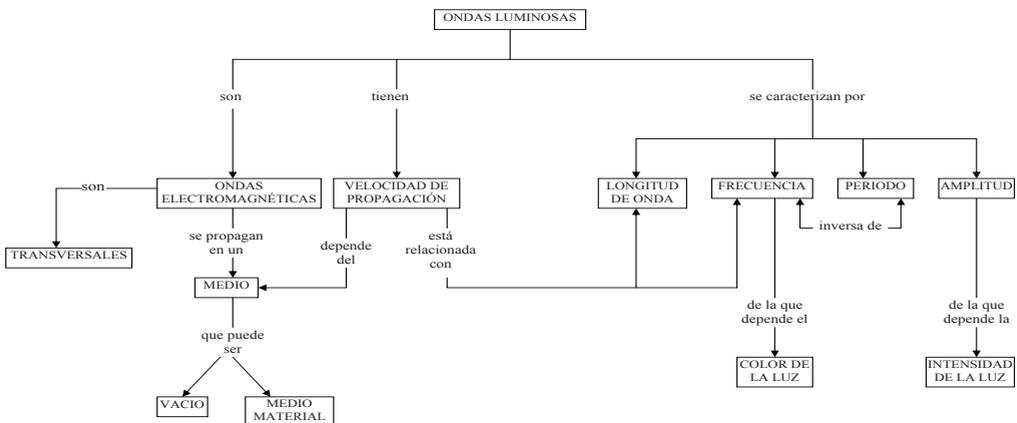


Figura 3
 Mapa conceptual sobre la luz



2. Selección de las simulaciones adecuadas para transmitir esos conocimientos. Se eligieron diez, ubicadas en diversas direcciones de Internet, y se elaboró un documento en formato Word, que contenía una imagen de cada simulación y su dirección URL. Este documento se grabó en el disco duro de cada uno de los ordenadores del aula, de forma que los alumnos, simplemente pinchando en la dirección URL, pudieran acceder al sitio de Internet donde está la simulación deseada. El documento puede verse en el ANEXO.

3. Diseño de un programa de actividades, que contenía ocho páginas, en las que se incluían informaciones y preguntas que debían responder al interactuar con las simulaciones que se les iba indicando (tenían espacio en blanco para las respuestas).

El cuadro 3 muestra un resumen de este programa de actividades. En la primera columna aparece el ordinal correspondiente. En la segunda se especifica la información que se facilitaba a los alumnos para cada actividad; en algunos casos era sólo la observación y posibilidad de manipulación de una simulación concreta y en otros el enunciado de la actividad contenía información explícita que debían recordar y utilizar. En la tercera se indica la simulación utilizada y el contenido básico de la actividad con las preguntas clave que tenían que responder. La última muestra las afirmaciones de conocimientos conceptuales que se pretende que los alumnos asuman con cada una de las actividades.

Cuadro 3

Resumen de las actividades, preguntas-clave y de las afirmaciones de conocimientos.

Act	Información facilitada	Actividad y preguntas clave	Principales afirmaciones de conocimientos
1		Simulación 1. ¿Qué es lo que se propaga con las ondas que observas en la simulación?	<ul style="list-style-type: none"> Las ondas consisten en la propagación de movimientos oscilatorios. Con ellas se propaga energía sin transporte de masa.
2		Simulación 1. Modifica la amplitud en la onda. ¿Qué es la amplitud? Mídela con una regla?	<ul style="list-style-type: none"> La amplitud (A) es el máximo desplazamiento de las oscilaciones. Se mide en unidades de distancia (m, cm, etc)

3	Conceptos de frecuencia y periodo.	<p>Simulación 1. Modifica la frecuencia en la onda.</p> <p>Con un cronómetro mide varios valores de f y T. ¿Existe alguna relación entre f y T?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La frecuencia (f) es el número de oscilaciones que hace una partícula en un segundo. Se mide en oscilaciones/seg, unidades a las que se les llama Hercios. • El periodo (T) es el tiempo que tarda una partícula en hacer una oscilación completa. Lógicamente se mide en unidades de tiempo, generalmente segundos. • Siempre se cumple la relación $f = 1/T$
4	Concepto de velocidad de propagación de ondas.	<p>Simulación 1. ¿Qué velocidad llevan las ondas de la simulación? Mídela, con regla y cronómetro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Las ondas se propagan con una velocidad (v) característica, que depende del medio en el que se propaga.
5	Concepto de longitud de onda.	<p>Simulación 1. ¿Puedes medir, con una regla, la longitud de onda?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La longitud de onda (λ) es la distancia entre dos crestas o valles consecutivos de las ondas. Lógicamente se expresa en unidades de distancia (cm., m, Km., etc.)
6		<p>Simulación 1. ¿Se ve afectada la longitud de onda cuando se modifican otras magnitudes?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La longitud de onda es independiente de la amplitud, pero sin embargo está relacionada con el periodo, frecuencia y velocidad de propagación.
7		<p>Simulación 2. Modifica los valores de f, v y λ. ¿Puedes encontrar la relación que existe entre ellos?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Siempre se cumple la relación: $v = \lambda \cdot f$
8		<p>Simulación 3. ¿Qué diferencias observas entre ondas transversales y longitudinales de la simulación?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Las ondas en las que la dirección de las oscilaciones es perpendicular a la de la propagación se llaman transversales, y aquellas en las que la dirección de las oscilaciones y la de propagación coinciden se llaman longitudinales.
9	Carácter del sonido como ondas. Su velocidad en diferentes medios.	<p>¿Cómo se propaga el sonido?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El sonido se propaga mediante ondas longitudinales. • Las ondas sonoras se propagan en el aire a la velocidad de 343 m/s. En el agua se propagan a 1500 m/s, aproximadamente En el vacío no se pueden propagar las ondas sonoras.

<p>10</p> <p>Intensidad y tono de un sonido</p>	<p>Simulación 4. Apunta los valores de f y λ de las notas emitidas por el piano. ¿De qué depende el tono de un sonido?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La intensidad del sonido que percibimos depende de la amplitud (A) de la onda sonora. Cuanto más grande sea A percibiremos un sonido más intenso. • El tono del sonido depende de la frecuencia (f) de la onda sonora. A mayor valor de f, el sonido se percibirá más agudo, dentro del margen que un oído humano puede percibir.
<p>11</p> <p>Carácter de la luz como onda electromagnética. Su velocidad en el vacío y en diferentes medios. La intensidad y el color de la luz..</p>	<p>¿Cómo se propaga luz?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La luz visible son ondas electromagnéticas, caracterizadas porque se pueden propagar en el vacío, y corresponde al margen de frecuencia que puede percibir un ojo humano. • Las ondas electromagnéticas son siempre transversales. • Las ondas luminosas se pueden propagar en el vacío con velocidad $c = 300000 \text{ Km/s}$. En el aire se propagan prácticamente a la misma velocidad, pero en otros medios más densos (agua, vidrio, etc.) se propagan con menor velocidad. En el agua a 225000 Km/s. • La intensidad que percibimos de una luz depende de la amplitud (A) de las ondas luminosas. • El color que percibimos de una luz depende de la frecuencia (f) de las ondas luminosas.
<p>12</p>	<p>Simulación 5. Modifica el valor de λ y anota el nombre que reciben las ondas en cada margen. ¿En qué difieren las ondas del espectro electromagnético?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El espectro total de las ondas electromagnéticas de mayor a menor λ es: ondas de radio, microondas, infrarrojos, luz visible, ultravioleta, rayos X y rayos γ.

13	Concepto de rayo y de frente de ondas.	Simulación 6. Observa en la simulación de ondas en 3 D, desde diferentes perspectivas. ¿Qué aspecto presentan? ¿Qué son los rayos y los frentes de onda?	<ul style="list-style-type: none">• Las ondas, en general, se propagan en varias dimensiones espaciales.• Si miramos desde arriba las ondas que se propagan en un plano, los frentes de ondas son las líneas que vemos avanzar, que generalmente son circulares, pero a suficiente distancia del foco emisor podemos considerarlas rectas.• Los rayos son las líneas imaginarias que representan cualquier dirección de propagación. Siempre son perpendiculares a los frentes de ondas.
14		Simulación 7. Observa en la simulación los fenómenos de difracción, reflexión y refracción. ¿En qué consiste cada uno de esos fenómenos?	<ul style="list-style-type: none">• La difracción consiste en que al pasar las ondas por un orificio pequeño, al otro lado, se propagan en todas las direcciones: las ondas bordean los obstáculos.• La reflexión consiste en que las ondas rebotan en una superficie. El ángulo con el que inciden las ondas es igual al ángulo con el que rebotan.• La refracción consiste en que al pasar las ondas de un medio a otro varía su dirección de propagación
15	Concepto de índice de refracción .	Simulación 8 y Simulación 9 Experimenta con las simulaciones, modificando sus variables. ¿Por qué se produce la refracción? ¿Qué observaciones relevantes puedes hacer?	<ul style="list-style-type: none">• El índice de refracción de un medio, en el que la luz se propaga con velocidad v, se define como $n = c/v$.• El hecho de cambiar la velocidad de propagación, al pasar de un medio a otro, explica el cambio de dirección de propagación en la refracción.• Cuando las ondas pasan de un medio en el que van con más velocidad a otro con menos velocidad, la dirección de las ondas se acerca a la normal a la superficie y viceversa.
16		Simulación 10. Experimenta con la simulación. ¿Qué ocurre cuando se superponen las ondas?	<ul style="list-style-type: none">• La superposición de ondas produce otras ondas diferentes. Este hecho se llama interferencias.• Cuando interfieren dos ondas existen determinadas condiciones en que se pueden anular en unos puntos y reforzar en otros.

Cuadro 4

Prueba realizada. Incluía figuras y espacio para la respuesta a cada pregunta.

Item	Pregunta
1	¿En qué consisten las ondas? ¿Qué es lo que se propaga con las ondas?
2	¿De qué depende la velocidad de propagación de las ondas?
3	¿Qué es la amplitud de las ondas?
4	(A partir de figura de varias ondas) Observa las ondas de la figura, y ordénalas de menor a mayor amplitud
5	¿Qué es la frecuencia de las ondas? Si 50 oscilaciones se realizan en 20 segundos, ¿cuánto vale la frecuencia?
6	¿Qué es el periodo de las ondas? Si 50 oscilaciones se realizan en 20 segundos, ¿cuánto vale el periodo?
7	¿Qué es la longitud de onda?
8	(A partir de figura de varias ondas) Observa las ondas de la figura, y ordénalas de menor a mayor longitud de onda.
9	¿Qué relaciones existen entre la velocidad de propagación (v), la amplitud (A), la frecuencia (f), el periodo (T) y la longitud de onda (λ)? ¿Alguna de esas magnitudes es independiente?
10	(A partir de figura de varias ondas) Si las ondas de la figura tienen la misma velocidad de propagación, ordénalas de menor a mayor frecuencia.
11	Define ondas longitudinales y ondas transversales.
12	¿En qué consiste el sonido?
13	(A partir de figura de varias ondas) Si las ondas de la figura son sonoras, asigna al sonido que percibimos los calificativo que le correspondan. Redondea, para cada una, un calificativo de cada conjunto: (Muy débil, Débil, Fuerte, o Muy fuerte) (Muy grave, Grave, Agudo, o Muy agudo)
14	(A partir de figura en que se observa tres capas consecutivos: aire, vacío y agua, del mismo espesor) Observa los tres medios consecutivos de la figura: aire, vacío y agua, con igual espesor cada uno de ellos (suponemos que están separados y que no se mezclan). Ordena de menor a mayor el tiempo que tardaría un sonido en atravesar cada medio y el tiempo en atravesar los tres.

15 (A partir de la misma figura anterior) Si conoces los datos necesarios y sabiendo que el espesor a recorrer en cada medio es de 1000 m, calcula numéricamente el tiempo que tarda el sonido en recorrer cada una de las distancias anteriores.

16 ¿En qué consiste la luz?

17 Si sabemos que la velocidad de propagación de la luz en el agua es 225000 Km/s, calcula el índice de refracción del agua.

18 (A partir de figura en que se observa tres capas consecutivos: aire, vacío y agua, del mismo espesor) Observa los tres medios consecutivos de la figura: aire, vacío y agua, con igual espesor cada uno de ellos (suponemos que están separados y que no se mezclan). Ordena de menor a mayor el tiempo que tardaría un rayo de luz en atravesar cada medio y el tiempo en atravesar los tres.

19 (A partir de la misma figura anterior) Si conoces los datos necesarios y sabiendo que el espesor a recorrer en cada medio es de 1000 m, calcula numéricamente el tiempo que tarda la luz en recorrer cada una de las distancias anteriores.

20 (A partir de figura de varias ondas) Si las ondas de la figura son luminosas, asigna a la luz que percibimos el calificativo que le correspondan. Redondea, para cada una, un calificativo de cada conjunto: (Muy débil, Débil, Fuerte, o Muy fuerte) (Roja, Naranja, Azul, o Violeta)

21 Escribe los nombres que reciben las ondas electromagnéticas, ordenadas de menor a mayor longitudes de onda.

22 Explica en qué consiste la difracción de ondas.

23 Explica en que consiste la reflexión de ondas. ¿Qué ley cumple?

24 Explica en qué consiste la refracción de ondas. ¿Por qué se produce?

25 (A partir de la figura en la que se observan tres casos de frentes de ondas planos incidiendo sobre la superficie de separación de dos medios)
Dibuja, aproximadamente, en los casos de la figura cómo continuarían los frentes de ondas al pasar de un medio a otro. En el primer caso pasan de más a menos velocidad y en los otros de menos a más velocidad.

26 Hay un vaso vacío encima de la mesa con una moneda en el fondo, que no puedes ver desde tu posición. Si alguien llena el vaso de agua, sin cambiarlo de sitio, ¿podrías ver la moneda desde la misma posición que antes? Razona tu respuesta.

27 ¿Se pueden anular dos ondas entre sí? ¿Qué debería ocurrir para que se anulen en un punto?

28 ¿Podría darse alguna vez las circunstancia que llegara a un punto dos luces y produjeran oscuridad? Es decir, que se produzca que Luz + Luz = Oscuridad

4. Realización de los preparativos de la infraestructura necesaria: insertar las fechas de la experiencia en el contexto de la asignatura, reservar un aula de ordenadores del centro para esas fechas, revisar el funcionamiento de éstos, y el acceso a Internet, grabar en cada uno de los ordenadores el documento con las simulaciones al que nos hemos referido anteriormente, hacer fotocopias, etc.

4.3. Diseño de instrumentos de recogida de información

Se diseñó una prueba con veintiocho preguntas sobre ondas, luz y sonido, que se corresponden, aunque no totalmente, con las treinta y una afirmaciones de conocimiento. La usamos como prueba inicial para detectar los conocimientos previos de los alumnos y como prueba final para detectar el avance en el aprendizaje producido. El cuadro 4 muestra el resumen de las preguntas contenidas en cada uno de los ítems de la prueba.

El vaciado de la información de la prueba, tanto inicial como final, lo hicimos según el siguiente criterio de puntuación:

- Respuesta incorrecta o en blanco (0 puntos)
- Respuesta con algún atisbo de idea correcta (1 punto)
- Respuesta en la que se intuye la idea correcta, pero está mal expresada (2 puntos)
- Respuesta correcta y bien expresada (3 puntos)

Por lo tanto, la puntuación de cada ítem era sobre 3 puntos, y el valor máximo posible de puntuación en la prueba (28 ítems) era de 84 puntos.

4.4. Desarrollo de la experiencia.

Se realizaron los siguientes pasos:

1. Sin previo aviso, se les pasó la prueba inicial de forma individualizada. Gran cantidad de las preguntas las dejaron en blanco, sobrándoles tiempo en el periodo normal de una sesión de clase. Hay que tener en cuenta que los conocimientos que tenían los alumnos sobre *Ondas*, *Luz* y *Sonido* debían provenir de su interacción con la sociedad, o de niveles muy anteriores del sistema educativo, pues en el currículo académico de este ciclo no existía ninguna unidad didáctica de tales características.

2. La primera sesión en el aula de ordenadores se dedicó fundamentalmente a dos tareas:

- b) Distribuir a los alumnos en sus puestos de trabajo. Puesto que había trece ordenadores, en el grupo A, a dos de ellos se les asignó el mismo ordenador para que trabajaran juntos, y en el grupo B diez de ellos trabajaron por parejas y ocho lo hicieron individualmente. En cualquier caso, las parejas las propuso el profesor procurando, además de la afinidad entre ellos, que fueran los académicamente más flojos.
- c) Una vez distribuidos, se dedicó el resto de la sesión a que se familiarizaran con las simulaciones, a entrar y salir de ellas (utilizando el documento del anexo grabado en el disco duro), a jugar sin ninguna pretensión de enseñanza. Únicamente se puso la condición de que tenían que acceder y jugar con las diez simulaciones que aparecían en el documento, aprendiendo a interaccionar con ellas.

3. Las cuatro sesiones siguientes se dedicaron a que los alumnos fueran desarrollando las actividades del programa guía (cuadro 3), reflejando las respuestas en la propia hoja de trabajo. Con objeto de evitar posibles contaminaciones externas, el cuadernillo con el programa guía lo entregaban al finalizar cada sesión y se les devolvía al inicio de la siguiente.

Es importante destacar que durante este desarrollo la intervención del profesor, deliberadamente fue prácticamente nula, pues se limitaba a responder cuestiones de carácter técnico sobre el funcionamiento de las simulaciones, aclaraba el significado de algún término, etc., dejando que fueran los alumnos los que *investigaran* con la simulación las preguntas que hacían sobre los conceptos de la unidad didáctica. Así mismo, se les invitó a que **no** utilizaran el libro de texto, y que extrajeran todas sus respuestas de la investigación con las simulaciones.

También es importante decir que, para algunos alumnos, las cuatro sesiones fueron claramente insuficientes para desarrollar todo el programa de actividades. Además, no todos dispusieron de las cuatro sesiones, debido a algunas ausencias a clase.

4. Sin previo aviso (los alumnos creían que íbamos a continuar con el desarrollo del tema) se les pasó de nuevo la prueba final. Aunque los resultados se expondrán más adelante, pudimos observar que, en gene-

ral, escribían más y que, para algunos, el tiempo de la sesión de clase fue escaso.

5. En la misma prueba final se les propuso que, por el reverso de la última hoja, expresaran su opinión o sugerencias, sin ningún tipo de limitaciones, sobre la experiencia que ha supuesto para ellos esta nueva forma de aprender.

5. Resultados

5.1. Resultados sobre el conocimiento inicial de los alumnos

Como ya se ha comentado anteriormente, los conocimientos previos que tenían los alumnos sobre *Ondas*, *Luz* y *Sonido* debían tener un origen extraescolar o ser fruto de la enseñanza en otras etapas educativas. Se pudo constatar que, en la prueba inicial, dejaban en blanco una gran cantidad de preguntas. No obstante, de las contestaciones podemos extraer algunas de las ideas previas más recurrentes, que pueden representar dificultades para el aprendizaje:

- Consideran que las ondas consisten en la propagación de “algo”, pero no identifican con claridad qué es lo que se propaga.
- Desconocen o confunden las magnitudes características de las ondas, dándoles significados que asocian a la literalidad de las palabras. Así, muchos consideran la amplitud de las ondas como el alcance de las mismas.
- Las ideas de frecuencia y longitud de onda las asocian a la sintonía de emisoras de radio.
- No establecen ninguna relación entre las magnitudes características de las ondas.
- Consideran que el sonido se puede propagar en el vacío. Piensan que, en general, tanto para el sonido como para la luz, a mayor densidad del medio, menor velocidad de propagación.
- Desconocen el carácter de la luz como onda electromagnética, a lo sumo, asocian la luz a algunos fenómenos (lo que proviene del Sol, lo que nos ilumina...) y tienden a darle carácter corpuscular.
- Desconocen, en general, o confunden el significado de fenómenos ondulatorios como la reflexión, refracción, difracción e interferencias.

El vaciado de la prueba inicial queda expuesto en el cuadro 5, donde se muestra la puntuación obtenida por cada alumno. Hubo tres alumnos (A16, A27 y A30) que no realizaron la prueba inicial por ausencia a clase.

Cuadro 5
Puntuaciones obtenida en la prueba inicial por cada alumno

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16
7	10	13	12	23	2	7	22	14	2	6	3	13	12	12	
A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32
12	12	2	6	8	7	17	7	8	22		8	8		15	18

Si recordamos que la máxima puntuación posible de la prueba era de 84 puntos, detectamos en general bajos conocimientos iniciales sobre *Ondas, luz y sonido*, aunque con notables diferencias entre algunos alumnos (A5, A8, A26) que llegan a los 22 o 23 puntos y otros (A1, A6, A7, A10, A11, A12, A19, A20, A21, A22, A24, A25, A28 y A29) que no llegan a los 10 puntos.

5.2. Resultados sobre el conocimiento final de los alumnos.

Tras aplicar nuestra propuesta de enseñanza, basada en las simulaciones, podemos destacar como aspectos positivos, respecto a los conocimientos de los alumnos, lo siguiente:

- Se ha mejorado en la identificación de qué es lo que se propaga con las ondas: vibraciones, movimiento, energía...
- Se ha mejorado en la comprensión del significado de las magnitudes características de las ondas (amplitud, frecuencia, periodo y longitud de onda)
- Relacionan aceptablemente la intensidad de un sonido con la amplitud de las ondas y el tono con la frecuencia.
- Para el caso de la luz, distinguen en qué medios se mueve con mayor o menor velocidad.
- También se ha mejorado en la comprensión de algunos fenómenos ondulatorios, especialmente el de la refracción y la reflexión.

Por otra parte, destacamos como aspectos negativos la presencia, en un número importante de casos, de lo siguiente:

- a) Siguen teniendo dificultades en establecer relaciones matemáticas entre las magnitudes características de las ondas.
- b) Siguen pensando que el sonido se puede propagar en el vacío.
- c) Continúan las dificultades para distinguir el carácter de onda electromagnética que tiene la luz y el de onda material que tiene el sonido.
- d) No han asimilado el concepto de índice de refracción.
- e) No han comprendido los fenómenos de difracción e interferencias.

El cuadro 6 muestra los resultados del vaciado de la prueba final para cada alumno. En este caso hubo otros tres alumnos (A6, A30 y A32) que no realizaron la prueba por ausencia a clase.

Cuadro 6
Puntuaciones obtenida en la prueba final por cada alumno

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16
5	26	17	50	35		17	52	29	27	29	20	37	17	30	41
A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32
37	37	13	17	39	33	45	30	14	29	16	35	36	34		

Recordando, de nuevo, que la máxima puntuación posible de la prueba era de 84 puntos, observamos que, aunque han aumentado las puntuaciones respecto a la prueba inicial, tan solo tres alumnos (A4, A8, y A23) superan los 42 puntos, que podríamos considerar como el nivel de suficiencia.

5.3. Contraste entre el conocimiento inicial y final de los alumnos

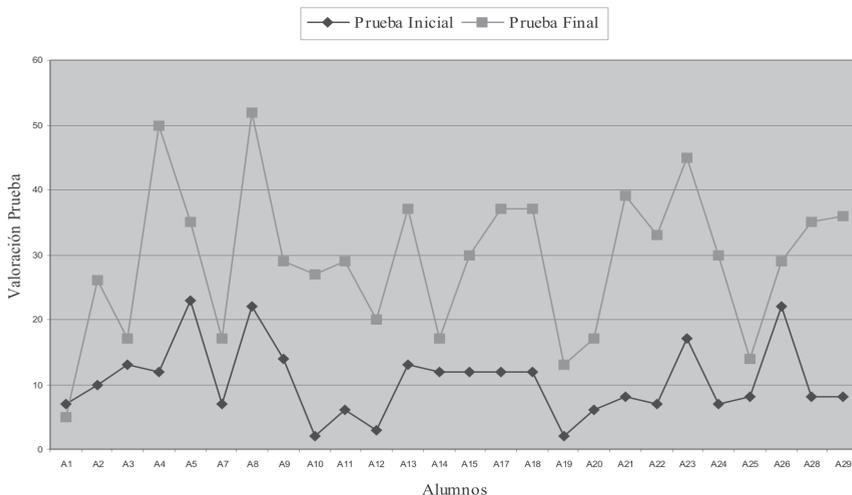
Exponemos ahora, en el cuadro 7, el avance en el aprendizaje de cada alumno, extraído de la diferencia de puntuación entre la prueba inicial y final. En esta tabla aparecen en blanco las casillas correspondientes a los alumnos (A6, A16, A27, A30, A31 y A32) que no realizaron, por ausencia, alguna de las dos pruebas, ya que ahora nos interesa el contraste entre ambas.

Cuadro 7
 Avance de puntuación entre prueba inicial y final de cada alumno

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16
-2	16	4	38	12		10	30	15	25	23	17	24	5	18	
A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	A29	A30	A31	A32
25	25	11	11	31	26	28	23	6	7		27	28			

Estos resultados de contraste, entre la puntuación de las pruebas inicial y final, pueden apreciarse con más claridad en la gráfica de la figura 4.

Figura 4



El contraste de resultados, globalmente considerados para toda la muestra, los obtenemos haciendo las medias aritméticas y desviaciones típicas de las valoraciones de la prueba inicial y final. Se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8
 Contraste entre prueba inicial y final, para el conjunto de la muestra

	Prueba Inicial	Prueba Final	Avance
Media aritmética de la muestra	10,5	29,1	18,6
Desviación típica	4,5	9,1	8,5

Constatamos que se produjo un claro avance en el aprendizaje, que podríamos cuantificar globalmente en un valor de 18.6, lo que representa un incremento del 77 % respecto al resultado de la prueba inicial. Solamente hay un alumno (A1) que obtiene peor valoración en la prueba final que en la inicial, lo cual probablemente se deba a circunstancias particulares en las que no podemos incidir. No obstante, hay que recordar que la puntuación máxima era de 84 puntos y la valoración media de la prueba final (29.1 puntos) es bastante inferior de lo que podríamos cuantificar como nivel de suficiencia (42 puntos), lo cual indica que, a pesar del evidente avance, aun quedan muchos problemas de aprendizaje por resolver.

También pudimos observar valores elevados de la desviación típica, lo que indicaba que el avance en el aprendizaje no se producía de manera uniforme entre todos los alumnos, sino que existía una apreciable disparidad entre ellos. Presumimos que debe existir alguna correlación entre el avance individual de los alumnos y sus historiales académicos o sus ideas iniciales.

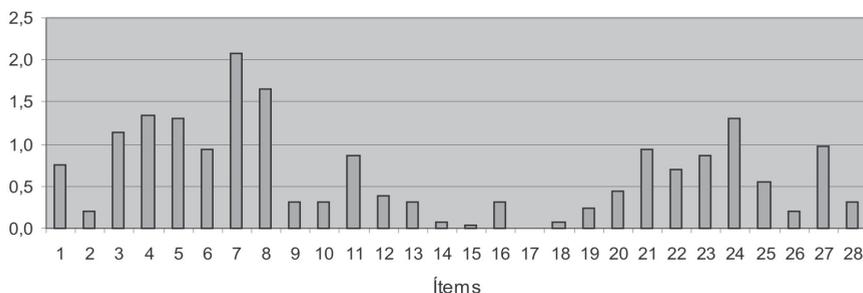
Por otra parte, tratamos de detectar en qué zonas de la unidad didáctica ha sido más efectivo el uso de las simulaciones. Para ello, en cada uno de los veintiocho ítems de los que constaba la prueba, hallamos la media de las puntuaciones obtenidas por los alumnos tanto en la inicial como en la final y, por lo tanto, el avance de aprendizaje producido para cada ítem. Los resultados se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9
Puntuaciones promedio, inicial, final y avance, en cada ítem de la prueba

	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8	I-9	I-10	I-11	I-12	I-13	I-14
Avance	0,8	0,1	1,1	1,4	1,4	1,0	2,0	1,7	0,3	0,3	0,8	0,4	0,3	0,1
P. Final	1,3	0,7	1,7	2,3	2,2	1,3	2,3	2,2	0,3	1,0	0,9	1,0	1,2	0,2
P. Inicial	0,5	0,6	0,6	0,9	0,8	0,3	0,3	0,5	0,0	0,7	0,1	0,6	0,9	0,1
	I-15	I-16	I-17	I-18	I-19	I-20	I-21	I-22	I-23	I-24	I-25	I-26	I-27	I-28
Avance	0,0	0,3	0,0	0,1	0,2	0,4	1,0	0,7	0,9	1,3	0,5	0,2	0,9	0,3
P. Final	0,0	0,7	0,0	1,5	0,2	1,0	1,0	0,7	1,2	1,6	0,5	0,6	1,0	0,3
P. Inicial	0,0	0,4	0,0	1,4	0,0	0,6	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,4	0,1	0,0

El avance promedio, producido en cada ítem de la prueba, se puede apreciar en la gráfica de la figura 5.

Figura 5
Avance promedio en cada ítem



Tal como hemos comentado anteriormente, en el gráfico se aprecia que las zonas de mayor avance corresponden a los ítems relacionados con el significado de las magnitudes características de las ondas, y también, aunque en menor medida, a los relacionados con la comprensión de algunos fenómenos ondulatorios. Estos resultados parecen apuntar a que los principales avances se producen en aquellas cuestiones conceptuales que para su adquisición no requieren más elaboración que una observación directa, lo cual parece lógico dado el carácter de las simulaciones. No obstante, es posible que la propia estructura de algunos de los ítems, elaborados quizá con demasiada ligereza, condicione los resultados anteriores.

En otro orden de cosas, tras el análisis de las opiniones vertidas por los alumnos en la prueba final, sobre el desarrollo de la experiencia, constatamos las siguientes:

- La gran mayoría mostraron su agrado por el nuevo sistema de aprendizaje utilizando simulaciones.
- Prácticamente la totalidad de los alumnos manifestaron que hubieran necesitado explicaciones del profesor (recuérdese que el profesor apenas intervino) para reforzar el aprendizaje que adquirirían con las simulaciones.

6. Conclusiones y reflexiones finales

En primer lugar, en lo referente a observaciones cuantitativas, los resul-

tados anteriores muestran que es posible aprender autónomamente mediante las simulaciones. El aprendizaje provocado a los alumnos en el desarrollo de esta experiencia nos lleva a pensar que las simulaciones pueden ser de gran efectividad en la enseñanza de la Física, si se utilizan y compatibilizan adecuadamente con explicaciones del profesor, tal como reclamaban los alumnos en sus opiniones finales. Posiblemente el aprendizaje sería mayor si, además de las simulaciones, se usaran otros recursos o se llevara el proceso de enseñanza de una forma más directiva.

No obstante, también hicimos algunas observaciones interesantes de carácter cualitativo, que tratan de completar la respuesta a la pregunta que planteamos como problema principal de la investigación. Durante las cuatro sesiones en que los alumnos manejaban las simulaciones para responder a las actividades programadas, observamos lo siguiente:

- Se esforzaban por entender el fenómeno y no aprender simplemente la fórmula. La visión animada de un fenómeno y la interactividad con él les inducía a ello.
- Adoptaban actitudes investigadoras de forma natural y sin forzarlos: control de variables, se preguntaban porqués, tendían a comunicar los hallazgos.
- Aprendían activamente: dar respuesta a una pregunta manejando la simulación no les permitía la pasividad, lo cual, a su vez, les provocaba una mayor motivación.
- Los hay que, para responder a una pregunta, necesitaban repetir varias veces la observación de un fenómeno en la simulación y los hay que lo captaban a la primera. Cada uno en su ordenador llevaba su propio ritmo de aprendizaje, lo que facilitaba la atención a la diversidad.

Ahora bien, también constatamos que existían algunas diferencias respecto a la enseñanza tradicional, que podríamos denominar *servidumbres incómodas*, las cuales deben llevarse a cabo si se desea que el uso de simulaciones informáticas sea efectivo. Algunas de ellas son:

- Es necesario seleccionar cuidadosamente las simulaciones que se vayan a utilizar, de forma que contengan los elementos adecuados a los conocimientos que se desea transmitir y sin complicaciones excesivas que oscurezcan los conceptos. A veces, si no se encuentra ninguna adecuada en Internet, sería muy conveniente que el profesor tuviera la capacidad de crear sus propias simulaciones.

- El uso de las simulaciones debe insertarse en un tipo de metodología diferente a la expositiva tradicional. Es necesaria una metódica planificación de las actividades, en las que se dosifique y gradúe adecuadamente las informaciones que proporciona el profesor, la experimentación simulada de los alumnos, las actividades de lápiz y papel y, a veces, las de laboratorio. Es importante tener claro qué información queremos dar a los alumnos y qué es lo que queremos que ellos mismos descubran con las simulaciones.
- A la hora de plantearse una propuesta de enseñanza con simulaciones es necesario cuidar previamente diversos aspectos técnicos y de infraestructura, que no son nada desdeñables, tales como la posibilidad de disponer de un aula con suficiente número de ordenadores, el correcto funcionamiento de éstos, el fácil acceso a las simulaciones que se requieran, etc.

La experiencia que hemos realizado debemos considerarla como un trabajo piloto, que sirva de toma de contacto para otros trabajos posteriores. Por lo tanto, una vez realizada, también nos sirve como conclusión ser conscientes de algunos aspectos en los que sería mejorable. Entre otros, citaremos los siguientes:

- Faltó tiempo para que los alumnos desarrollaran todas las actividades del programa guía, ya que se realizó al final de curso.
- Debería haberse seleccionado mejor alguna de las simulaciones utilizadas, pues no acababan de cumplir su función.
- El instrumento de recogida de información debería haberse diseñado con más detenimiento, con objeto de asegurar mejor la objetividad a la hora de cuantificar el aprendizaje producido en los alumnos.

A modo de reflexión final diremos que, desde principio la década de los años noventa, se viene intentando insertar el uso de los ordenadores en la enseñanza, incluso con iniciativas institucionales (proyecto Atenea y proyecto Plumier). Aunque en la bibliografía de estos años encontramos artículos con reflexiones genéricas sobre los diferentes usos que puede tener el ordenador en la enseñanza de la Física, son escasos los trabajos que muestran experiencias directas con alumnos utilizando simulaciones informáticas, quizás influya en esta escasez lo que antes hemos llamado las *servidumbres incómodas* de su utilización. Puede que ahora, con una mayor cantidad de ordenadores en los centros y las

posibilidades de Internet para proporcionar el material adecuado, haya llegado el momento de dar los pasos definitivos para incorporar de forma general este recurso a la enseñanza. Tal como se puede leer en el prefacio de un libro sobre simulaciones de Física, de reciente publicación (Esquembre y otros, 2004) *“A menudo ocurre que las consecuencias más valiosas de las nuevas tecnologías son nuevos paradigmas de enseñanza, pero lleva bastante tiempo y esfuerzo conseguir que estos paradigmas resulten visibles”*.

Referencias bibliográficas.

- Bautista, A. (1987). Revisión bibliográfica sobre informática y educación. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(3), 255-262.
- Bohigas, X., Jaen, X. y Novell, M. (2003). Applets en la enseñanza de la Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 463-472.
- Bueno, E., Oliva, J.M., Matos, J. y Bonat, M. (2004). El sonido se mueve: un módulo experimental. *Alambique*, 40, 19-24.
- Caballero, J.A. y Soler, V. (1998). Demostraciones de aula de física con una cubeta. *Alambique*, 15, 87-92.
- Carcavilla, A. y Puey, M.L. (2003). Propuesta para lograr una mejor comprensión de los conceptos básicos de óptica geométrica. *Alambique*, 35, 17-28.
- Cortel, A. (1999). Utilización de la informática en el laboratorio. *Alambique*, 19, 77-87.
- Cortel, A. (2004). La física de la visión: experiencias de percepción visual. *Alambique*, 39, 93-98.
- De Pro, A. y Saura, O. (2003). El estudio de las ondas mecánicas visibles en la ESO. *Alambique*, 35, 29-41.
- Esquembre, F., Martín, E., Christian, W. y Belloni, M. (2004). *Fislets: Enseñanza de la Física con material interactivo*. Madrid: Pearson Educación, S.A.
- Franco, A. (2003). Internet en la enseñanza y el aprendizaje de la Física. *Revista Española de Física*, 17(5), 63-66.
- Garrido, M.B., Castelló, M., y Furió, C. (2001). Manipulación de moléculas en la página web mediante el plug-in “Chemiscap-Chime”. *Alambique*, 30, 67-74.
- Gomez-Crespo, M.A. (1994). Influencia de la enseñanza asistida por ordenador en el rendimiento y las ideas de los alumnos sobre electricidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 355-360.
- Herrán, C. y Parrilla, J.L. (1994) La utilización del ordenador en la realización de experiencias de laboratorios. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 393-399.
- Lin, M.C. (2002). Promover la educación científica a través de las tecnologías de la información y comunicación (TIC). *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 347-356.
- Lowy, E. (1999). Utilización de Internet para la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 19, 65-72.

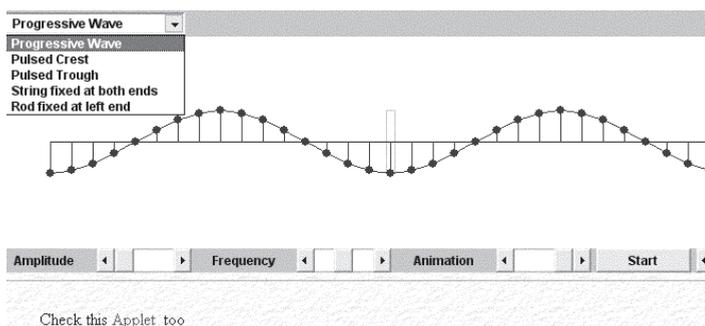
- Martínez-Jiménez, P., León, J. y Pontes, A. (1994). Simulación mediante ordenador de movimientos bidimensionales en medios resistentes. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(1), 30-38
- Massons, J., Camps, J., Cabré, R., Ruiz, X. y Díaz F. (1993). Electrostática y EAO: una experiencia de simulación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 179-183.
- Mentxaca, I. (2004). Web-Quest: Internet como recurso didáctico. *Alambique*, 40, 62-70.
- Parejo, C. (1999). Comunicación en Internet: Science Across Europe. *Alambique*, 19, 73-76.
- Perales, F.J. (1997). Escuchando el sonido: concepciones sobre acústica en alumnos de distintos niveles educativos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 233-248.
- Perales, F.J. (2003). El estudio del sonido en la educación secundaria. *Alambique*, 35, 9-16.
- Pontes, A. (1999). Utilización del ordenador en la enseñanza de las ciencias. *Alambique*, 19, 53-64.
- Sánchez, G y Valcárcel, M.V. (1993). Diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 33-34.
- Saura, O. y De Pro, A. (1999-a). ¿Utilizan los alumnos esquemas conceptuales en la interpretación del sonido? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 193-210.
- Saura, O. y De Pro, A. (1999-b). Diseño, aplicación y evaluación del módulo "Estudio de las ondas, el sonido y la luz". En A. De Pro y E. Banet (Eds): *Constructivismo y enseñanza de las Ciencias: Planificación, desarrollo y evaluación de propuestas para la educación secundaria*. (pp. 235-320). Murcia: Diego Marín.
- Sierra, J.L. (2003) *Estudio de la influencia de un entorno de simulación por ordenador en el aprendizaje por investigación de la física en el bachillerato*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- Tobin, K. (1999). Internet como instrumento de formación de los maestros en ciencias: ¿Agente transformador o catalizador de la reproducción cultural? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 155-164.
- Ursini, S., Sánchez, G., Orendain, M. y Butto, C. (2004). El uso de la tecnología en el aula de matemáticas: diferencias de género desde la perspectiva de los docentes. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(3), 409-424..
- Valdés, P. y Valdés, R. (1994). Utilización de los ordenadores en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 412-415.
- Valdés, P. y Valdés, R. (1999). Características del proceso de enseñanza-aprendizaje de la física en las condiciones contemporáneas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 521-532.
- Valls, J. y Segura, M. (2004). La luz y los colores: experiencias con prismas y espectroscopios. *Alambique*, 39, 86-92.
- Welti, R. (2002) Concepciones de estudiantes y profesores acerca de la energía de las ondas. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2). 261-270.

ANEXO

Simulaciones seleccionadas para la experiencia, con su dirección URL

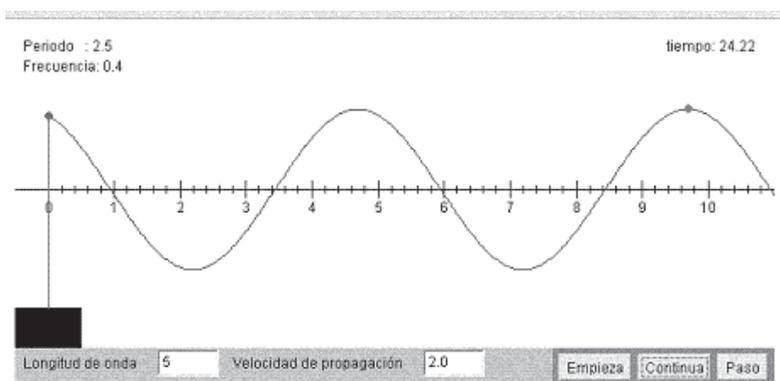
Simulación 1 : Ondas transversales (Suredranath)

<http://www.surendranath.org/Applets/Waves/Twave01/Twave01Applet.html>



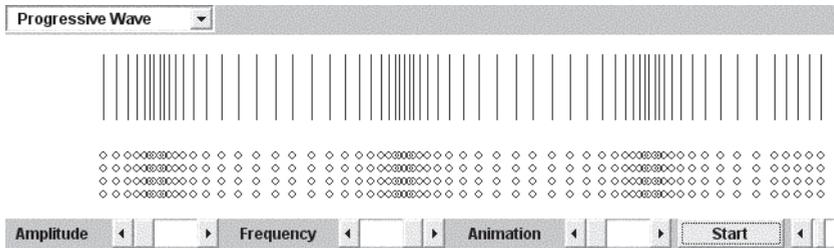
Simulación 2: Movimiento ondulatorio (Ángel Franco)

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/ondaArmonica/ondasArmonicas.html>



Simulación 3: Ondas longitudinales (Surendranath)

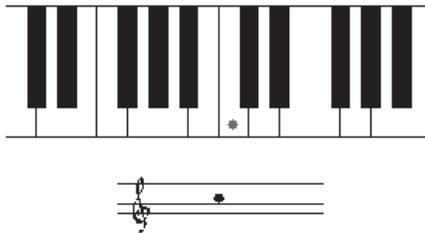
<http://www.surendranath.org/Applets/Waves/Lwave01/Lwave01Applet.html>



Simulación 4: Piano

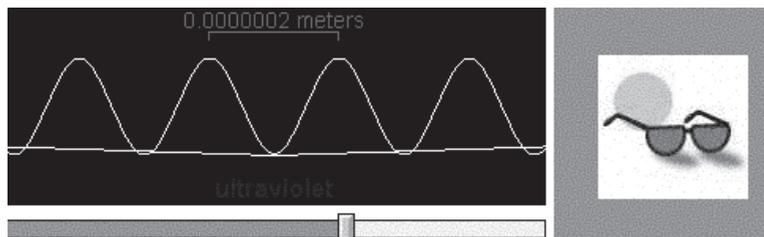
<http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/applist/sound/sound.html>

Note: C
Frequenz: 523.3 Hz
Wellenlänge: 0.657 m



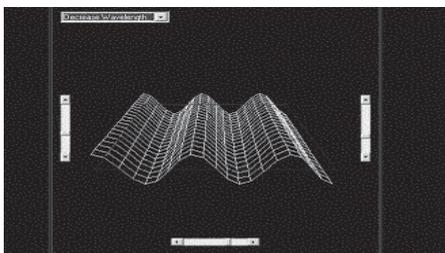
Simulación 5: Espectro de las ondas electromagnéticas (Goldman. Física 2000)

http://www.maloka.org/f2000/waves_particles/index.html



Simulación 6: Ondas en 3D (Edward A. Zobel.)

<http://id.mind.net/~zona/mstm/physics/waves/wave3d1/wave3d1.htm>



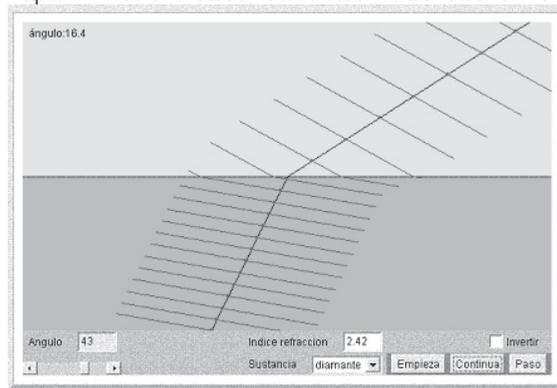
Simulación 7: Reflexión, Refracción y Difracción (W. Bauer)

<http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/kap13/cd372.htm>



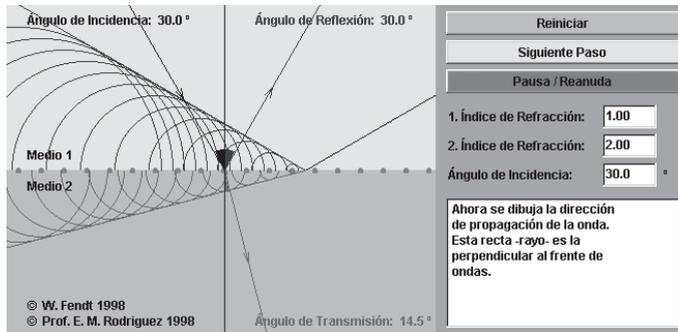
Simulación 8: Refracción de ondas. (Ángel Franco)

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/snell/snell.htm>



Simulación 9: Reflexión y refracción de ondas. P. Huygens (W.Fendt)

http://colossv.fcu.um.es/Cursos/Walter/phs/huygenspr_s.htm



Simulación 10: Superposición de ondas (W. Fendt)

<http://www.surendranath.org/Applets/Waves/Twave02/Twave02Applet.html>

