

UNIVERSIDAD DE MURCIA

Facultad de Educación

*“Aprendizaje de esquemas conceptuales y de contenidos procedimentales
en el estudio de las Ondas, del Sonido y de la Luz a partir de una
propuesta de enseñanza con un enfoque constructivista.
Un trabajo experimental en el ámbito de la Educación Secundaria”*

Octavio Saura Llamas

Murcia, 1996

C.2.4 VARIABLES DEPENDIENTES

Las variables dependientes de nuestro trabajo quedaron implícitas en la declaración de las Hipótesis de trabajo realizada en 1.4 del Capítulo anterior. Corresponde ahora la especificación de qué instrumentos han sido utilizados para estudiarlas y, de ello, nos ocuparemos en este apartado.

Para el estudio de las características iniciales de los alumnos respecto al aprendizaje hemos utilizado, en primer lugar, unas pruebas escritas que abarcaban cada uno de los contenidos implicados: conceptuales, procedimentales y actitudinales.

En relación con el seguimiento que les hemos realizado a los alumnos, se han usado dos elementos: la evolución de sus cuadernos de trabajo, y las respuestas recogidas en las entrevistas que se les hicieron en el mes último de clase para profundizar en los conocimientos sobre los contenidos del módulo de Ondas y para saber cuáles eran sus opiniones sobre la metodología utilizada. A esta información habría que añadir el diario del profesor que, si bien no constituye un objeto de estudio en sí mismo, es un complemento informativo esencial para la interpretación y comprensión de lo que aconteció en el aula.

También comentaremos las pruebas finales, pasadas una vez concluida la impartición del módulo (diferentes de las iniciales), que abarcaban asimismo cada uno de los contenidos implicados: conceptuales, procedimentales y actitudinales. Y, por último, otras pruebas de retención y olvido, de la misma índole que las anteriores, que se les pasaron a los alumnos nueve meses después de la finalización del módulo de investigación.

C.2.4.1 Pruebas iniciales

Las pruebas iniciales que hemos utilizado, como elemento para determinar la evolución de la variable dependiente, han ido referidas a los tres tipos de contenidos: conceptuales, procedimentales y actitudinales. Aunque los cuestionarios que se les dieron a los alumnos aparecen recogidas en el Apéndice IV, nos interesa justificar los fundamentos con los que fueron usadas.

La división que hemos establecido obedece a nuestra visión sobre el proceso de Enseñanza-Aprendizaje. Entendemos que no es posible, como ya hemos señalado en otras partes de este trabajo, olvidar alguno de estos tipos de contenidos en una investigación en el ámbito de la didáctica de las Ciencias. Pensamos no sólo que forman un conjunto indivisible, sino que la interrelación entre ellos es tan grande que cada uno se ve influenciado por los demás. La mayor importancia que se ha venido dando a los conceptuales, que lógicamente no compartimos, creemos que ha propiciado el bajo rendimiento que se obtiene en las aulas con alumnos de las edades de nuestro grupo, la falta de interés de los estudiantes por sus estudios, y el mantenimiento de una visión distorsionada y poco útil tanto de la Ciencia como de los científicos.

Es necesario, como investigadores y como profesores en activo, contribuir a erradicar todas estas creencias. Desde nuestro punto de vista, es preciso incluir en el trabajo de aula todos los contenidos; esta inclusión no ha de limitarse sólo a situaciones anecdóticas o de comprobación folclórica, sino que ha de estar presente en la mayoría de las actuaciones que el profesor plantee a los alumnos en el aula.

C.2.4.1.1 Prueba de contenidos conceptuales

Antes del comienzo de la impartición de la enseñanza correspondiente al módulo de nuestra investigación, se les pasó una prueba sobre contenidos conceptuales que estaban relacionados con las Ondas, el Sonido y la Luz. El objeto era no sólo detectar los conocimientos que sobre todo ello tenían los alumnos inicialmente, sino también disponer de una información que considerábamos sumamente interesante para la planificación del desarrollo posterior de nuestra propuesta en el aula.

La prueba constaba de veinte ítems. Fue elaborada seleccionando una serie de preguntas y actividades (extraídas textualmente) de diversos libros de texto de E.G.B., F.P. y B.U.P. Las cuestiones eran de distinto tipo (respuesta múltiple, definiciones, situaciones problemáticas, etc.) y, en todas ellas, no sólo debían dar una respuesta, sino que tenían que justificarla.

Se dividió por su extensión, en dos partes y se les pasó a los alumnos en momentos diferentes. Con ello pretendíamos facilitar sus respuestas y eliminar la ansiedad que provoca la falta de tiempo para una tarea de este tipo; esto provoca muchas veces distorsiones en las respuestas de los alumnos. Cada una de las partes se les pasó lógicamente antes de la impartición de los conceptos implicados. El tiempo del que disponían los alumnos para cada una de las pruebas fue de aproximadamente 55 minutos, que era la duración de los períodos lectivos en el I.F.P. de Molina de Segura en ese momento.

Para facilitar su descripción, vamos a utilizar dos cuadros de doble entrada. En cada uno van a figurar tres columnas; la primera hace referencia al ítem correspondiente, la segunda a los conceptos implicados y la tercera a los esquemas conceptuales a los que nos referiremos más adelante. En el Cuadro 2.29 aparece la primera parte de la prueba. Hay que tener en cuenta que el séptimo de los ítems fue incluido por sus características en la prueba de contenidos procedimentales y, por tanto, será utilizado como tal.

ONDAS Y SONIDO

Item	Conceptos implicados	Esquemas conceptuales
1.- Pon cinco ejemplos de movimientos ondulatorios (ondas)	- Onda	- Magnitudes ondulatorias
2.- En un movimiento ondulatorio (onda) ¿hay transporte de: a) materia?, b) energía?, c) ambas cosas?, d) ninguna de ellas?. Explica tu respuesta.	- Onda - Energía - Propagación de las ondas - Características de las ondas - Modelo ondulatorio	- Magnitudes ondulatorias - Propagación del sonido
3.- Cuando escuchas la radio, seguro que has oído hablar de frecuencia y de longitud de onda. ¿Qué significan para ti esos términos?	- Frecuencia - Longitud de onda	- Magnitudes ondulatorias
4.- ¿Cuál es la velocidad del sonido en el vacío?, ¿crees que es superior a la velocidad del sonido en el agua?. ¿Por qué?	- Vacío - Propagación del sonido - Velocidad del sonido - Modelo ondulatorio	- Propagación del sonido
5.- Cuando un avión "rompe la barrera del sonido" se produce un gran estruendo, rompiéndose incluso los cristales de algunas ventanas. ¿Podrías dar una explicación a este hecho?	- Onda - Propagación del sonido - Velocidad del sonido - Interferencias	- Propagación del sonido
6.- ¿De qué factores depende la intensidad de un sonido?: a) de la temperatura, b) de la densidad del medio, c) de las características de la onda, d) de la masa del cuerpo que vibra.	- Intensidad del sonido	- Magnitudes ondulatorias - Propagación del sonido
8.- Seguro que alguna vez has estado en algún sitio en que hubiera eco. ¿Pero podrías decir qué es el eco?: a) una propiedad de las montañas, b) una cualidad propia del sonido, c) un fenómeno de reflexión del sonido o d) un fenómeno de amortiguación del sonido. Explica tu respuesta.	- Propagación del sonido - Reflexión del sonido - Amortiguación del sonido - Eco	- Reflexión del sonido
9.- Se pulsan con la misma fuerza dos violines exactamente iguales en el mismo sitio de la cuerda. ¿En que se diferencian los sonidos correspondientes?: a) en la intensidad, b) en el tono, c) en el timbre, d) en nada. Explica tu respuesta.	- Cualidades del sonido (intensidad, tono y timbre) - Características de las ondas	- Magnitudes ondulatorias
10.- ¿Es verdad que los perros oyen mejor que las personas?, di todo lo que sepas sobre el asunto.	- Receptor - Emisor - Audición	- Magnitudes ondulatorias

Cuadro 2.29

De la misma manera, en el Cuadro 2.30 se describe la segunda parte de la prueba, es decir la que tenía relación con la Luz; seguiremos los mismos criterios que con la anterior en la denominación de las columnas.

LUZ

Item	Conceptos implicados	Esquemas conceptuales
11.- En la habitación de la fotografía (ver Apéndice IV.1), ¿crees que hay luz?. Explica detenidamente tu respuesta.	- Luz - Foco luminoso	- Naturaleza de la luz - Visión
12.- Cuando el Sol está detrás de ti, ¿donde está tu sombra?. Explica detenidamente tu respuesta.	- Sombra - Cuerpo opaco - Propagación de la luz - Formación de las sombras	- Propagación de la luz - Sombras
13.- Paseando un día de verano soleado, se ve sobre el suelo la sombra de los árboles. Según tu ¿por qué hay sombra: a) Porque los árboles se reflejan en la tierra b) Porque los objetos tienen sombras c) Porque los árboles impiden pasar la luz d) Otra respuesta. Explica detenidamente tu respuesta	- Sombra - Cuerpo opaco - Propagación de la luz - Reflexión de la luz - Formación de las sombras	- Propagación de la luz - Sombras
14.- La habitación de la figura es oscura y las paredes perfectamente negras, está completamente limpia, sin polvo ni humo en el aire (ver Apéndice IV.1). Si miramos en la dirección indicada por el ojo. ¿Podríamos ver la luz que entra por el agujero?. Explica detenidamente tu respuesta.	- Visión - Propagación de la luz - Reflexión de la luz	- Propagación de la luz - Sombras - Reflexión de la luz - Visión
15.- Juan está mirando dentro de un cubo. Hay un trozo de plastilina en el fondo que Juan no puede ver (ver Apéndice IV.1). Explica por qué no, y añade un dibujo a tu explicación si lo deseas. El cubo está ahora lleno de agua, Juan puede ver ahora el trozo de plastilina, aunque el no se ha movido y el cubo ha permanecido en el mismo lugar. Explica por qué Juan puede ver ahora la plastilina que el cubo está lleno de agua, y añade un dibujo a tu explicación si lo deseas.	- Visión - Propagación de la luz - Reflexión de la luz - Refracción de la luz - Imagen	- Propagación de la luz - Refracción de la luz - Visión
16.- Entre los objetos siguientes señala los que den luz: el fuego, una bombilla eléctrica, los ojos, una botella, una vela, el cielo, un lápiz, una ventana, el Sol y un espejo.	- Luz - Foco luminoso	- Naturaleza de la luz - Visión
17.- El dibujo de la figura representa la sombra de una caja puesta en el suelo cuando está iluminada por una bombilla que alumbra muy poco (ver Apéndice IV.1). Después se cambia la bombilla por otra que alumbra mucho. Comparando con el dibujo anterior, escoge entre los tres dibujos el que da el valor correcto a la sombra. Explica respuesta.	- Sombra - Cuerpo opaco - Propagación de la luz - Formación de las sombras - Intensidad de la luz	- Propagación de la luz
18.- Cuando se enciende una bombilla eléctrica en una habitación: a) La luz ilumina al mismo tiempo toda la habitación b) La luz está al principio cerca de la bombilla y sólo después ilumina las paredes. Explica detenidamente tu respuesta.	- Propagación de la luz - Velocidad de la luz - Foco luminoso	- Naturaleza de la luz - Propagación de la luz
19.- Se está en una habitación umbría y se observa una hoja de papel iluminada por una lámpara de bolsillo. ¿Hay luz: a) sobre la hoja? b) entre la hoja de papel y la lámpara? c) alrededor de la bombilla?	- Propagación de la luz - Velocidad de la luz - Foco luminoso	- Naturaleza de la luz - Propagación de la luz
20.- ¿Que zona de la pantalla estará iluminada? (Ver Apéndice IV.1)	- Propagación de la luz - Sombra - Penumbra - Formación de las sombras	- Sombras - Propagación de la luz - Reflexión de la luz

Cuadro 2.30

Lo primero que realizamos con las respuestas de nuestros alumnos fue categorizarlas según una clave de vaciado; que aparece en el Anexo 3.1 de la Tesis. Esta tabulación inicial trataba de encontrar y describir las

contestaciones similares que habían hecho los estudiantes pero sin perder información de las originalmente realizadas. Nos va a permitir, por lo tanto, un estudio descriptivo de los conocimientos conceptuales previos de la experiencia.

Sin embargo, si consideramos que los alumnos utilizan esquemas, más o menos estructurados, en la interpretación de la realidad, parece conveniente inferir qué tipo de relaciones establecen entre sus concepciones e ideas científicas.

Los esquemas conceptuales no han sido elaborados por ellos mismos sino que los hemos deducido nosotros a partir de las respuestas a las preguntas que de forma directa o indirecta estaban relacionadas con el tópico en cuestión. Así, por ejemplo, en el caso del esquema de la propagación del sonido, hemos utilizado las explicaciones que los alumnos han dado a todas las respuestas relacionadas con dicha propagación y a través de ellas hemos ido estableciendo todas las relaciones existentes. Algunos ejemplos se han recogido en el Anexo 4.

Lo que fundamentalmente pretendíamos a la hora de la elaboración de dichos esquemas, era poner de manifiesto la existencia de una coherencia propia y singular en las respuestas que dan los alumnos. Estas hipotéticas estructuras no son casos únicos sino que se repiten en otros alumnos con pocas diferencias. Incluso, es posible ordenarlos en función de su idoneidad científica, como veremos más adelante.

Para ello, tratamos de descubrir en sus respuestas la existencia de algunas ideas que fueran utilizadas en las contestaciones de varios ítems. Fijamos unos campos de atención e identificamos en qué cuestiones solían aplicar los posibles esquemas existentes. Los tópicos de referencia han sido recogidos en el Cuadro 2.31.

Parte del Módulo	Esquemas de referencia
Ondas	- Magnitudes Ondulatorias
Sonido	- Propagación del Sonido - Reflexión del Sonido
Luz	- Naturaleza de la Luz - Propagación de la Luz - Sombras - Reflexión de la Luz - Refracción de la Luz - Visión

Cuadro 2.31

En el Cuadro 2.32 aparecen especificados los ítems de la prueba que guardan una relación más relevante con los esquemas. Debido a la falta de consistencia de los conocimientos de los alumnos y a sus singulares interpretaciones, hemos tenido que utilizar, a veces, ítems que a priori parecían no tener conexión; así por ejemplo, en el caso de la reflexión del sonido se tuvo en cuenta el ítem 5 que hace referencia a la barrera del sonido. Esto ha dificultado un proceso que ya de por sí ha sido muy laborioso.

No siempre ha sido posible encontrar un esquema característico pero, como ya dijimos, se han podido detectar situaciones en las que varios alumnos utilizaban en sus razonamientos las mismas estructuras conceptuales. En estos casos, las hemos representado e, incluso, se ha establecido una cierta ordenación en función de su científicidad, coherencia y complejidad.

Tanto el esquema como el cardinal constituyen la signatura específica de cada alumno en la prueba inicial. Pero, además, esta categorización tiene una utilidad importante desde una perspectiva investigadora. Puesto que no somos partidarios de “repetir pruebas” al principio y final de la experiencia, necesitamos disponer de una estrategia que nos permita contrastar los resultados. Así, la información dimensionada de esta forma nos permite un contraste más atomizado con el postest (comparación esquema inicial-esquema final) de cara a valorar la eficacia de nuestra propuesta didáctica.

Esquema	Items prueba inicial	Signaturas
Magnitudes Ondulatorias	1, 3 y 6	MO-1, MO-1a, MO-1b, MO-2, MO-3, MO-3a, MO-4, MO-4a, MO-4b y MO-6
Propagación del Sonido	4, 5, 6 y 2p	PS-1, PS-2, PS-3, PS-4, PS-5 y PS-6
Reflexión del Sonido	8, 2 y 5	RS-1, RS-2, RS-2a, RS-3, RS-4 y RS-5
Naturaleza de la Luz	11, 16, 18 y 19	NL-1, NL-1a, NL-2, NL-2a, NL-3, NL-3a, NL-4 y NL-5
Propagación de la Luz	18, 19 y 20	PL-1, PL-1a, PL-2, PL-3, PL-4, PL-4a, PL-5, PL-6 y PL-6a
Sombras	12, 13 y 17	S-1, S-1a, S-2, S-2a, S-3, S-3a, S-4, S-5 y S-5a
Reflexión de la Luz	14 y 20	RL-1, RL-1a, RL-2, RL-3 y RL-4
Refracción de la Luz	15 y 1p	FL-1, FL-1a, FL-1b, FL-2, FL-3 y FL-4
Visión	11, 14, 15 y 16	V-1, V-1a, V-2, V-3 y V-4

Cuadro 2.32

De cualquier manera, no hemos querido obviar un contraste cuantitativo que parece obligado en los estudios experimentales. En nuestro caso, hemos pasado de la clave de vaciado a la que aludíamos en el Anexo 3.1 a una cuantificación, utilizando una escala de cero a cuatro:

Cero: Era una respuesta que se podría considerar muy mala, es decir completamente incorrecta, que contenía deficiencias muy graves y cuyo desarrollo era prácticamente nulo.

Uno: Se trataba de una contestación que se podría considerar mala; es decir incorrecta, que contenía deficiencias importantes y que estaba parcialmente desarrollada.

Dos: Esta era una respuesta que se podría considerar regular; es decir que tenía apreciaciones correctas, pero conteniendo algunas deficiencias no demasiado importantes y que estaba desarrollada aunque no completamente.

Tres: En este caso la respuesta se podría considerar buena; es decir que era correcta, conteniendo algunas deficiencias irrelevantes y que estaba muy desarrollada aunque no de forma completa.

Cuatro: Se trataba de una respuesta que se podía considerar muy buena; es decir que, además de ser completamente correcta, contenía ideas originales o singulares, y que estaba totalmente desarrollada.

C.2.4.1.2 Prueba de contenidos procedimentales

Dentro de las pruebas que se pasaron inicialmente a los alumnos, había una que versaba sobre los contenidos procedimentales. Aparece recogida en el Apéndice IV.2, aunque, en este apartado, comentaremos brevemente aspectos importantes de la misma en la línea de las pruebas conceptuales.

Constaba de cinco items y fue elaborada de manera similar, es decir seleccionando las actividades de diversos libros de texto del mismo nivel.

La realización de la misma se llevó a cabo junto a la de contenidos actitudinales, exceptuando el quinto ítem que lo fue junto con la de los conceptuales. El tiempo específico del que disponían los alumnos para esta parte fue de aproximadamente 30 minutos.

Para facilitar su descripción, vamos a utilizar un cuadro de doble entrada (Cuadro 2.33). En ella van a figurar tres columnas; la primera de las cuales hace referencia al ítem correspondiente, la segunda a los procedimientos y la tercera a los conceptos implicados en ese ítem.

Ítem	Procedimientos implicados	Conceptos implicados
1.- Sobre un vaso que contiene un líquido desconocido, se hacen llegar rayos luminosos con distinta inclinación y se miden los correspondientes ángulos de incidencia y refracción. He aquí los resultados (ver Apéndice IV.2): ¿Qué conclusiones eres capaz de sacar de esta información?. Hay que tener en cuenta que además se les suministró una tabla con ocho valores y un dibujo alusivo a lo que en el texto se decía.	<ul style="list-style-type: none"> - Interpretación de la información - Establecimiento de conclusiones - Análisis de resultados 	<ul style="list-style-type: none"> - Rayos luminosos - Propagación de la luz - Reflexión - Refracción - Ángulo de incidencia - Ángulo de refracción
2.- Se sabe que es posible escuchar lo que dice una persona a 1 Km de distancia si el viento está a favor (sobre todo si estamos en invierno). Elabora una hipótesis para explicar este hecho	<ul style="list-style-type: none"> - Interpretación de la información - Formulación de hipótesis 	<ul style="list-style-type: none"> - Propagación del sonido - Distancia - Velocidad - Audición - Temperatura - Densidad
3.- Diseña una experiencia para poder comprobar la hipótesis de la pregunta anterior.	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño de experiencias 	<ul style="list-style-type: none"> - Propagación del sonido - Distancia - Velocidad - Audición - Temperatura - Densidad
4.- La gente del campo cuando ve una tormenta, y quiere saber a cuantos kilómetros de distancia se encuentra; hace lo siguiente: espera a que caiga un rayo, cuenta los segundos que pasan desde que se ve el relámpago hasta que se oye el trueno y divide esos segundos entre tres. ¿Crees que el procedimiento es correcto desde el punto de vista científico?. Justifica tu respuesta	<ul style="list-style-type: none"> - Interpretación de la información - Reconocimiento de problemas 	<ul style="list-style-type: none"> - Propagación del sonido - Propagación de la luz - Velocidad del sonido - Velocidad de la luz - Distancia - Audición
5.- ¿Podrías diseñar una experiencia para demostrar que cuando tiramos una piedra a un lago se produce una onda?	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño de experiencias 	<ul style="list-style-type: none"> - Onda

Cuadro 2.33

De manera similar a la prueba de contenidos conceptuales, elaboramos una clave de vaciado que nos permitiera la categorización de los respuestas obtenidas. Esta aparece en el Anexo 3.2 de esta Tesis Doctoral.

Igualmente y siguiendo el paralelismo indicado para las anteriores, se cuantificaron los resultados. Volvimos a utilizar una escala entre cero y cuatro puntos, que describimos a continuación:

Cero: Cuando la respuesta se podría considerar muy mala; es decir totalmente incorrecta al contener deficiencias muy graves, con un desarrollo prácticamente nulo y que, además, no tenía una estructura coherente.

Uno: Esta respuesta se podría considerar mala; es decir incorrecta, ya que contenía deficiencias importantes, estaba parcialmente desarrollada y, además, tenía una estructura poco consistente o ambigua.

Dos: Se trataba de respuestas que se podían considerar intermedias, es decir que eran casi correctas, pero conteniendo algunas deficiencias y que podía estar desarrollada aunque no completamente y con una estructura mínimamente aceptable.

Tres: Esta respuesta se podía considerar buena; es decir que era correcta aunque conteniendo algunas deficiencias irrelevantes; estaba muy desarrollada, aunque no de forma completa, y tenía una estructura consistente y relacionada.

Cuatro: Se trataba de una respuesta que se podría considerar muy buena; es decir que, además de ser completamente correcta, contenía aportaciones creativas; que estaba totalmente desarrollada y estructurada, relacionando todos los contenidos implicados.

C.2.4.1.3 Prueba de contenidos actitudinales

Para determinar las actitudes de los alumnos hacia la Ciencia y su evolución, y hacia los científicos, se les pasó el test de Hasan (1985) denominado ATS (Attitudes toward Science); dicho test aparece reproducido en el Apéndice IV.3 de la Tesis.

El objeto de esta prueba era no sólo detectar las que tenían antes de la impartición de las clases de Física y Química, sino también disponer de una información que considerábamos interesante para el posterior desarrollo del trabajo en el aula. Se pasó en tres momentos de nuestra investigación: a comienzos del curso académico, antes de empezar a impartir el módulo y al finalizar el mismo.

Es la única que se repite en la investigación como pretest y postest. Pensamos que una evolución en el aprendizaje de los contenidos actitudinales es más lenta que en los demás; muchas veces porque no se incide directamente en ellos pero otras porque realmente suelen estar más asentados y permiten menores modificaciones que otros. En nuestro caso, ha sido un referente importante, más para la puesta en práctica de nuestra propuesta que para la toma de datos valorativos.

La prueba constaba de treinta y dos ítems. Cada uno de los cuales era una afirmación y tenían a su derecha una escala Likert con cinco opciones, desde el cero (totalmente en desacuerdo) al cuatro (totalmente de acuerdo). Se les pedía que dieran su opinión sobre ellas y que manifestaran su grado de concordancia. El tiempo del que disponían fue de aproximadamente 30 minutos.

Durante el desarrollo de la prueba se les invitó a que preguntaran sobre cualquier término o expresión que no comprendieran. Hubo que hacerles algunas aclaraciones, aunque siempre las realizamos en voz alta para que todos pudieran escucharla. Llama la atención, por ejemplo, que en todos los cursos siempre había varios alumnos que preguntaban por el vocablo "coherente", recogido en el ítem 4.

Para facilitar su descripción, usamos el Cuadro 2.34 de doble entrada, en la que van a figurar a su vez dos columnas; la primera de las cuales hace referencia al ítem correspondiente y la segunda al tipo de actitud implicada.

Como podemos apreciar hay 19 ítems relacionados con la actitud hacia las Ciencias y 13 hacia el trabajo realizado por los científicos. Quizás, falta información en el instrumento sobre otros ámbitos de las actitudes (dentro de un proceso científico o hacia la Física como materia curricular)... Estas carencias hemos tratado de solventarlas con otras pruebas y datos como veremos en las entrevistas realizadas a los alumnos que se recogen el apartado siguiente.

Para cuantificar los resultados de la prueba se utilizó la misma escala de Likert, entre cero y cuatro puntos, que acompaña a las afirmaciones. El hecho de disponer de un número impar de categorías no obliga a tomar partido pero conservamos la estructura y el significado de cada opción que le han asignado los autores.

Item	Actitud implicada
1- La Ciencia es el mejor método que tenemos para abordar los problemas de la sociedad y del medio ambiente.	- La Ciencia
2.- Creo que una persona de inteligencia media nunca podría ser un científico.	- Los científicos
3.- No puedo aceptar todo lo que la Ciencia afirma.	- La Ciencia
4.- Creo que los científicos no son coherentes.	- Los científicos
5.- Creo que la Religión, comparada con la Ciencia ofrece mejores soluciones sociales.	- La Ciencia
6.- El estudio de la Ciencia debería ser obligatorio.	- La Ciencia
7.- Me sorprende la capacidad de los científicos para retener tantos datos.	- Los científicos
8.- Creo que a los propios científicos les gustaría limitar su número pronto.	- Los científicos
9.- Una sociedad debe aceptar y alentar la Ciencia si quiere mejorar sus formas y condiciones de vida.	- La Ciencia
10.- A los científicos se les debería dar libertad para investigar lo que quieran.	- Los científicos
11.- Creo que el concepto del hombre sobre el Universo ha cambiado como resultado del progreso científico.	- La Ciencia
12.- Creo que los científicos pueden resolver los problemas del hombre eficazmente.	- Los científicos
13.- Creo que a los científicos les importa de verdad resolver los problemas de la sociedad.	- Los científicos
14.- Creo que el estudio de la Ciencia es una necesidad para los individuos.	- La Ciencia
15.- Me fío más de experiencias personales que de la Ciencia.	- La Ciencia
16.- Creo que el conocimiento científico es fácil de asimilar.	- La Ciencia
17.- Debería permitirse a los científicos que comprobaran la validez de las creencias e ideas actuales.	- Los científicos
18.- Creo que la Ciencia conduce finalmente a la verdad.	- La Ciencia
19.- No me sorprendería que se demostrara que los hallazgos científicos eran erróneos.	- La Ciencia
20.- No veo la importancia de que haya varias explicaciones científicas para un fenómeno.	- La Ciencia
21.- Puedo vivir aislado de la Ciencia.	- La Ciencia
22.- El hecho de que los científicos critiquen el trabajo de otros científicos impide el progreso de la Ciencia.	- Los científicos
23.- No creo que los científicos investiguen problemas que les conciernan personalmente.	- Los científicos
24.- No pienso que la lógica sea más efectiva que la Ciencia para resolver los problemas del hombre.	- La Ciencia
25.- Se debería restringir el estudio de la Ciencia a unos pocos elegidos.	- La Ciencia
26.- Para resolver mis problemas prefiero acudir al sentido común antes que a la Ciencia.	- La Ciencia
27.- Dudo que los científicos de hoy estén más cerca de la verdad que los del pasado.	- Los científicos
28.- Me maravilla que mis amigos crean todo lo que dice la Ciencia.	- La Ciencia
29.- Un científico no debería fiarse de los hallazgos de otros científicos.	- Los científicos
30.- Para que la Ciencia progrese sólo personas muy inteligentes deberían ser alentados para ser científicos.	- Los científicos
31.- Creo que sólo la Ciencia puede ayudarme a entender el mundo que me rodea.	- La Ciencia
32.- Creo que el estudio de la Ciencia es más difícil por las Matemáticas.	- La Ciencia

Cuadro 2.34

C.2.4.2 Seguimiento de los alumnos

Teniendo en cuenta el planteamiento de nuestra investigación, nos parece fundamental no limitar el estudio de los resultados a unas pruebas escritas iniciales y finales, por muy importantes que las pudiéramos considerar. La enseñanza es un proceso complejo en el que intervienen gran cantidad de variables, a veces incontroladas, por lo que es imprescindible asumir que el aprendizaje de los alumnos necesita tiempo y que cualquier cambio, para que sea significativo, no puede ser inmediato.

Partiendo de estos presupuestos, consideramos que es importantísimo que la evaluación de los resultados obtenidos no se restrinja a momentos determinados; entendemos que es imprescindible la realización de un seguimiento de la evolución del trabajo a lo largo de todo el proceso. Lógicamente, esto añade una serie de complicaciones a la investigación, pues todo seguimiento implica la utilización de un tiempo que a veces es difícil conseguir. A pesar de todo, nos ha parecido lo suficientemente interesante como para llevarlo a cabo.

Como no es posible hacer un seguimiento individual y exhaustivo de todos los alumnos a lo largo de cada uno de los días de clase, hemos limitado el mismo y nos hemos centrado en tres instrumentos: cuadernos de trabajo de los alumnos, entrevistas y diario del profesor.

C.2.4.2.1 Cuaderno de trabajo del alumno

Como ya hemos comentado anteriormente, entre los instrumentos que utilizamos de forma habitual en el desarrollo de las sesiones de aula, se encuentra lo que muchos autores han venido denominando cuaderno de trabajo del alumno (Luna, 1989). Éste constituyó un elemento fundamental en nuestra propuesta, ya que era elaborado día a día a lo largo del curso y en él se registraban todas las incidencias que ocurrían en el aula: intervenciones del profesor, anotaciones personales, debates del grupo, puestas en común del gran grupo, consultas bibliográficas, hipótesis, diseños de experiencias, etc.

Pretendíamos con ello diversos objetivos: ser coherentes con nuestro planteamiento metodológico, promover entre los alumnos un material y un trabajo personalizado y reflexivo, evitar la posible desorientación que pudiera surgir a la hora de estudiar si no se utilizaba libro de texto y disponer de un documento escrito que nos facilitara el conocimiento de la evolución de sus aprendizajes en el proceso de construcción del conocimiento.

Dichas pretensiones se veían lógicamente condicionadas por la inercia de las clases denominadas "normales", por la falta de hábito de los estudiantes a la hora de tener que expresarse por escrito y por la gran dificultad que tenían para distinguir entre lo que significa estudiar y lo que significa memorizar. Por ello y para lograr que los alumnos se centraran en los aspectos significativos e importantes del instrumento, era fundamental que comprendieran el espíritu del cuaderno de trabajo y compartieran los objetivos que se pretendían con su uso.

Con todo ello, el cuaderno de trabajo va a ser uno de los instrumentos clave para interpretar el progreso del alumno y el grado de consecución de los objetivos propuestos en la planificación de nuestra unidad didáctica. Para analizarlos tuvimos que diseñar un instrumento de evaluación que sirviera como guía para los alumnos e hiciera más operativo nuestro seguimiento (véase Cuadro 2.5 del apartado 2.3.1).

Desde el punto de vista de la investigación, para valorar los cuadernos de trabajo se analizaron las respuestas dadas a las actividades planteadas en las hojas de trabajo (lógicamente un número sensiblemente menor que el total de actividades realizadas) y que aparecen en los Apéndices I, II y III. Hemos creído conveniente incluir algunas de las libretas de trabajo en el Anexo 5, con el fin de ilustrar la implicación de los alumnos en su elaboración y clarificar el tipo de datos a los que nos estamos refiriendo.

Para la cuantificación se utilizó una escala entre cero y cuatro puntos en la misma línea de otros instrumentos utilizados en la investigación, cuya descripción pasamos a relatar:

Cero: Una respuesta que se podría considerar muy mala, es decir completamente incorrecta que contiene deficiencias muy graves, cuyo desarrollo es prácticamente nulo y que, además ni guarda relación con las respuestas anteriores ni es coherente con ellas.

Uno: una respuesta que se podría considerar mala, es decir incorrecta, que contiene deficiencias importantes, parcialmente desarrollada y que, además guarda poca relación con las respuestas anteriores.

Dos: Una respuesta que se podría considerar regular, es decir que es casi correcta, conteniendo algunas deficiencias, aunque no demasiado importantes, que puede estar desarrollada aunque no completamente y que guarda cierta relación con las respuestas anteriores.

Tres: Una respuesta que se podría considerar buena, es decir que es correcta, conteniendo algunas deficiencias irrelevantes, que está muy desarrollada, aunque no de forma completa, y que guarda bastante relación con las respuestas anteriores.

Cuatro: Una respuesta que se podría considerar muy buena, es decir que, además de ser completamente correcta, contiene ideas originales o singulares, que está totalmente desarrollada, pero que a su vez está totalmente relacionada con las respuestas anteriores.

C.2.4.2.2 Diario del profesor

Como complemento a los otros dos instrumentos de seguimiento, hemos utilizado el diario del profesor. En él, cuyo nombre ya es bastante revelador, intentábamos recoger lo que ocurría diariamente en clase, para disponer de una información adicional que pudiera ayudarnos en nuestra tarea diaria y a no olvidar momentos relevantes de nuestra intervención.

Esa recogida de información cotidiana tenía como eje fundamental la descripción general de acontecimientos y situaciones significativas (Porlan y Martín, 1991), es decir, tratábamos de reflejar todo aquello que pudiera ser útil de cara a la investigación. Dicha tarea, como afirman los mismos autores, puede dividirse a su vez en dos partes: acontecimientos relacionados con las tareas escolares (trama académica) y acontecimientos contextuales generales (trama oculta). En la elaboración de nuestro diario hemos llevado a cabo dicha separación que compartimos decididamente, ya que nos parece fundamental no centrarse exclusivamente en lo estrictamente académico y olvidar todo aquello que lo contextualiza, que consideramos de vital importancia. De igual forma, hemos tratado de recoger la estructura y la dinámica de las actividades que se han realizado en la clase y las relaciones comunicativas que se produjeron en el aula, de gran importancia por las características de la metodología utilizada.

Centrándonos en la tarea del profesor estaban incluidos los objetivos y contenidos que se desarrollan, los recursos utilizados, el tipo de evaluación practicada y todos aquellos aspectos organizativos que considerábamos relevantes. Respecto a los alumnos, se recogió la aceptación de las normas (implícitas o explícitas) de funcionamiento, la relación intra e inter grupos y todos aquellos aspectos que considerábamos significativos en su trabajo. Así, registrábamos, por ejemplo, las dudas que las actividades les planteaban, las preguntas que se derivaban de ellas, la forma en la que abordaban el trabajo, el interés que demostraban en cada una de las tareas, los términos que les resultaban confusos, los problemas que encontraban en la realización de los experimentos, etc. y lógicamente las modificaciones introducidas en la práctica.

La realización de dicho diario la llevábamos a cabo una vez que había terminado la sesión de clase para lógicamente no interferir en su desarrollo. No obstante, siempre procuramos hacerlo inmediatamente para que fuera más sencillo recoger toda la información y que ésta no perdiera frescura. Hay que tener en cuenta, que no sólo impartíamos clase a los alumnos objeto de la investigación sino a tres cursos más...

Esta información nos ayudó en la evaluación del trabajo diario de los alumnos y nos servía para evitar la repetición de errores (recordemos que teníamos una muestra constituida por tres cursos), para matizar las actividades o simplemente para eliminar problemas. De cara a nuestra investigación, no se ha recogido en un apartado específico sino que la información ha sido incorporada al análisis de otros datos obtenidos por pruebas, cuestionarios, cuadernos de trabajo, entrevistas,... incluso, para describir la variable independiente, como vimos en el apartado anterior.

No se nos escapa que se trata de una valoración fundamentalmente subjetiva y como tal la hemos considerado. Pero también es cierto que dichas apreciaciones realizadas por profesores que posean una dilatada

experiencia (como creemos que es nuestro caso), suponen unos elementos muy interesantes a tener en cuenta. De hecho, aunque no ha sido objeto de demostración en nuestro trabajo, consideramos que existía una gran correlación entre la evaluación intuitiva del diario y los resultados obtenidos por los alumnos al respecto.

C.2.4.2.3 Entrevistas de los alumnos

Dentro del seguimiento del trabajo de los alumnos y para tener un mejor conocimiento de sus opiniones y de los resultados producidos por nuestra propuesta, llevamos a cabo una serie de entrevistas que nos sirvieron para determinar cómo y por qué se había producido la evolución demostrada en las pruebas escritas inicial y final. Con ello queríamos tener una información lo más próxima posible al propio proceso de construcción del aprendizaje.

La primera intención de dichas entrevistas era la de añadir, a las respuestas dadas en los cuadernos de trabajo, las matizaciones que en documentos de lápiz y papel son muy difíciles, si no imposibles, de conseguir. En una entrevista es posible observar no sólo la respuesta "a secas" sino otros muchos matices que nos parecen interesantes, sobre todo si consideramos la gran diferencia existente entre sus lenguajes oral y escrito. Así, por ejemplo, es posible apreciar la seguridad con la que expresan sus opiniones, el vocabulario que utilizan, aclararle la pregunta personalmente, la participación en las respuestas del grupo, etc. Consideramos que con la mayoría de los alumnos, especialmente con el tipo del que disponíamos (pertenecientes a la clase socio-económica baja o media-baja), limitar la evaluación de los resultados obtenidos a escritos, bien sean pruebas o cuadernos de trabajo, supone sesgar claramente la información que es posible obtener.

Pero la segunda intención de las entrevistas era profundizar en sus percepciones sobre el proceso que habían vivenciado. Habíamos introducido cambios importantes en el desarrollo de sus clases de Física (trabajo en grupo, hojas de trabajo, experiencias dirigidas,...) y parecía lógico estudiar cómo valoraban las innovaciones introducidas. Creemos que el clima conseguido facilitaba una sinceridad de los alumnos que es el elemento clave para dar fiabilidad y validez a la información recogida. En este sentido nos parecieron muy útiles las sugerencias de Novak y Gowin (1988) para este tipo de acciones.

No se nos escapa que la realización de dichas entrevistas supone la utilización de un tiempo que habitualmente no está al alcance de la mayoría de los profesores o investigadores. A pesar de todo y asumiendo que el trabajo que posteriormente se deriva es muy arduo y sumamente complejo, consideramos que ha sido muy satisfactorio llevarlo a cabo y que constituye una de las partes claves de esta investigación.

Había, pues, dos tipos de entrevistas. La primera, que constaba de 24 preguntas fundamentales, versaba sobre los contenidos de los cuadernos de trabajo, distinguiéndose en ella a su vez dos partes, una dedicada a las Ondas y el Sonido (desde la 1 a la 11), y otra a la Luz (desde la 12 a la 24). El guión de la entrevista se recoge en el Apéndice V.1; no obstante, la relación de las cuestiones centrales aparece en el Cuadro 2.34. Hemos querido incluir algunas para que el lector perciba el tipo de información que vamos a utilizar como datos de la investigación (ver Anexo 6.1)

El segundo tipo de entrevista tenía, como hemos comentado otra finalidad. Constaba de 17 preguntas, se centraba en la opinión que tenían los alumnos sobre los aspectos más relevantes de la metodología utilizada a lo largo del curso en la clase de Física y Química. El guión de la entrevista aparece en el Apéndice V.2; no obstante, la relación de las preguntas fundamentales aparece en el Cuadro 2.35. También hemos incluido algunas transcripciones en el Anexo 6.2 de esta Tesis para clarificar el tipo de respuestas recogidas con este instrumento.

Aunque a la hora de seleccionar a los alumnos, intentamos que estuvieran representados todos los grupos y cursos, las entrevistas se realizaron de forma voluntaria. Lógicamente preferíamos que las entrevistas se realizaran de forma individual. Les pedíamos, con la suficiente antelación, su consentimiento para llevarlas a cabo y, en los casos que percibíamos que se mostraran reticentes, entrevistábamos a otro, que perteneciera al mismo grupo o curso; incluso, no nos negamos cuando preferían hacerlo con otro compañero de su confianza. Priorizábamos que se sintieran cómodos, aún a costa de que sus respuestas estuvieran parcialmente influenciadas. Para minimizar este factor cuando entrevistábamos a más de uno, íbamos alternando el orden de comienzo de la pregunta.

Se realizaron un total de 47 entrevistas. De la primera disponemos de 23 (45.1%); los alumnos entrevistados aparecen en la Tabla 2.1. De la segunda tenemos las respuestas de 24 estudiantes (47.1%), que se recogen en la Tabla 2.2. Hubo 9 (17.6%) que realizaron las dos partes y 13 (25.5%) que no hicieron ninguna.

Pregunta	Actividad
P.1.- ¿Cómo has utilizado las fotocopias de apoyo?	O-2
P.2.- ¿Cuáles fueron las claves que te convencieron de que el modelo elegido era el adecuado para las Ondas?	Ondas
P.3.- ¿Cómo pusiste esto en la libreta?	O-5
P.4.- ¿Qué es lo que más te ayudó a responder a estas preguntas: la experiencia que hicimos, tus conocimientos, las fotocopias,...?	O-7, O-8 y O-9
P.5.- ¿Por dónde empezaste a responder estas preguntas?, ¿cómo os las planteasteis?, ¿en qué os fijasteis?	O-10 y O-11
P.6.- ¿Qué es lo que más trabajo te costó deducir de esta pregunta?	O-12
P.7.- Lo que sabías sobre las Ondas, ¿te ayudó a responder a la primera pregunta del Sonido?	S-1
P.8.- ¿Relacionaste fácilmente lo que sabíamos de las características de las Ondas, como frecuencia y amplitud, con agudo/grave y fuerte/flojo?	S-3 y S-4
P.9.- ¿En qué te apoyaste para averiguar cómo se propagaba el Sonido?, ¿de qué te acordaste?	S-5
P.10.- ¿En qué te apoyaste para diseñar la experiencia de esta pregunta?	S-6
P.11.- ¿Qué relación ves tú entre la información suministrada y esta pregunta?	S-11
P.12.- ¿Tú crees que la luz es una onda o un corpúsculo?	Luz
P.13.- ¿Cómo convencerías a alguien "de la calle" de que la luz es lo que tu crees (onda o corpúsculo)?	L-1
P.14.- Cuando quieres convencer a alguien ¿qué estrategias utilizas normalmente?	Global
P.15.- Cuando se trata de algo complicado como el "asunto" de la luz ¿amplías tu estrategia de alguna forma?	Luz
P.16.- Tú sabes que nosotros vemos porque los rayos de luz reflejados llegan hasta nuestros ojos. Imagínate que un alumno dice que por eso cuando queremos ver algo miramos en esa dirección. ¿Tú crees que tiene algo que ver una cosa con la otra?	L-2
P.17.- ¿Por qué crees que nosotros miramos en la dirección del objeto que queremos ver?	L-2
P.18.- Un alumno dice que los rayos de luz salen de nuestros ojos y que la prueba de que eso es verdad es que por eso dirigimos los ojos al sitio que queremos mirar, ¿te parece lógico?, ¿cómo le demostrarías que está equivocado?	L-2
P.19.- De estas cuatro "cosas": onda, luz, cuerpo y sonido; ¿cuál crees que es más importante?, ¿por qué?, ¿Cómo las clasificarías?	Ondas, Sonido y Luz
P.20.- De estas cuatro "cosas": onda, frecuencia, cuerpo y sonido; ¿cuál crees que es más importante?, ¿por qué?, ¿Cómo las clasificarías?	Ondas y Sonido
P.21.- Una experiencia bien diseñada ¿de qué crees tú que debe constar?, si tuvieras que evaluar las de tus compañeros ¿en qué te fijarías?, ¿a quién le pondrías un diez?	Global
P.22.- Cuéntame que hiciste para diseñar la experiencia del cálculo de la velocidad de la luz, ¿qué cosas tuviste en cuenta?, ¿de qué partiste?	L-5
P.23.- ¿Qué diferencias ves tú (desde el punto de vista científico) entre la luz y el sonido?	Sonido y Luz
P.24.- Realmente, ¿tú ves el Sonido y la Luz como ondas?, ¿por qué?	Ondas, Sonido y Luz

Cuadro 2.34

Alumnos	Total 23
1, 2, 6, 9, 10, 12, 13, 15, 17, 18, 20, 23, 26, 30, 33, 34, 37, 40, 42, 44, 47, 49 y 51	% de alumnos 45.1%

Tabla 2.1

Pregunta
P.1.- ¿Qué es lo primero que tienes en cuenta cuando vas a responder una pregunta?
P.2.- ¿Qué es lo que más te ayuda cuando vas a responder una pregunta (cuaderno de trabajo, profesor, compañeros, etc.)?
P.3.- ¿Cómo os ayudan las fotocopias con información escrita?
P.4.- Si consideras que uno de tus compañeros está equivocado, ¿qué es lo que haces?, ¿cómo le demuestras que está equivocado?
P..5.- ¿Qué ventajas le ves a trabajar en grupo? P..5b.- ¿Qué inconvenientes le ves a trabajar en grupo?
P.6.- Cuando hacéis una experiencia en clase, obtenéis unos datos. ¿Cómo lo hacéis?, ¿cómo averiguáis si un dato es bueno o no?
P.7.- ¿Cómo crees que es el funcionamiento de tu grupo?, ¿trabajáis todos de la misma manera?
P.8.- ¿Qué hacéis cuando no os ponéis de acuerdo o no se os ocurre una solución?
P.9.- Entre la formulación de hipótesis, análisis de problemas y sacar conclusiones. ¿Cuál requiere más información?
P.10.- ¿Qué hacéis cuando los resultados no coinciden con los que esperabais?
P.11.- ¿Hay diferencias importantes entre lo que comentáis en el grupo y lo que registráis en la libreta?
P.12.- ¿Te gusta la clase de Física y Química de la manera que la estamos dando?. ¿Te sientes a gusto en clase?
P.13.- ¿Qué ventajas le ves a esta forma de dar la clase?
P.14.- ¿Qué inconvenientes le ves a esta forma de dar la clase, con respecto a las demás?
P.15.- ¿Crees que has aprendido cosas de esta manera?. ¿Cómo lo notas?
P.16.- ¿Cuáles son las mayores dificultades de esta clase?
P.17.- ¿Tu crees que merece la pena estudiar Física y Química?

Cuadro 2.31

Alumnos	Total 24
1, 3, 4, 6, 11, 16, 18, 19, 22, 23, 24, 27, 28, 30, 33, 35, 39, 40, 41, 42, 45, 47, 48 y 50	% de alumnos 47.1%

Tabla 2.2

Las entrevistas tenían todas una duración aproximada de treinta minutos/persona. Debido a la diferente extensión de las respuestas, por la distinta locuacidad de los alumnos, no ocuparon lógicamente todas el mismo tiempo. Se llevaron a cabo desde el 6 al 26 de Junio de 1992, durante la última parte del módulo. Intentando buscar un poco de intimidad, las realizamos en la dependencia del Instituto dedicada al Departamento de Ciencias, para evitar las distorsiones que hubieran provocado la utilización de un aula.

No a todos los alumnos se les plantearon la totalidad de las preguntas, ya que a veces la extensión de la respuesta incluía elementos que nos aconsejaban evitar alguna de ellas, para no reincidir demasiado en cuestiones que parecían ya respondidas y cansarlo innecesariamente.

Las entrevistas se grabaron con una cassette, para lo que se les pidió permiso a cada uno de los entrevistados. También se les informó que no se trataba de un ejercicio de fluidez sino de sinceridad, asegurándoles que desconectaríamos la grabadora cuando ellos lo desearan. Una vez que se llevaron a cabo, se transcribieron las respuestas en su totalidad. De dichas transcripciones se extrajo la información que utilizamos en nuestro trabajo.

El tratamiento de la información se hizo de forma individual, es decir pregunta por pregunta. Se establecieron unas claves de vaciado que consistían en el establecimiento previo de una serie de categorías (aproximadamente entre tres y ocho tipos) y en la inclusión en las mismas de aquellas contestaciones que respondían a los estereotipos de la clase. Creemos, como veremos más adelante, que el proceso nos facilitó mucho el tratamiento de la información recogida, sin perder la gran riqueza de las contestaciones de los alumnos.

C.2.4.3 Pruebas finales

En las pruebas escritas finales que hemos utilizado aparecen los tres tipos de contenidos: conceptuales, procedimentales y actitudinales. Aunque son similares a las pasadas inicialmente, hay que decir que las usadas en esta ocasión, exceptuando las de contenidos actitudinales, no fueron las mismas por varias razones.

En primer lugar, la esencia misma de nuestro planteamiento didáctico utiliza los resultados de la prueba inicial en el propio proceso de Enseñanza/Aprendizaje. No se trataba de una evaluación control sino que tratamos de que los alumnos la percibieran como un elemento del que nos íbamos a aprovechar para ampliar sus conocimientos, por lo que las continuas referencias a los resultados durante el desarrollo del módulo la invalidaba de cara a la prueba final.

Pero, además, nos parece que el tiempo transcurrido entre ambas no es suficiente amplio como para garantizar que no se van a producir efectos distorsionadores en la recogida de información que pretendemos. Esto parece ignorarse en algunas investigaciones y lleva a conclusiones que, desde nuestra perspectiva, resultan inconsistentes por la escasa calidad de los datos en los que se apoyan. Ahora bien, ¿cómo contrastar los resultados obtenidos en las pruebas iniciales y finales?. Sin duda, una forma es cuantificarlos y compararlos estadísticamente si se producen diferencias y si éstas son significativas. El problema fundamental es que este contraste es global y pierde una gran riqueza de matices, fundamentalmente en un trabajo como el nuestro.

Sin embargo, hay otra forma de establecer estudios comparativos a partir del contraste entre los esquemas utilizados en ambas pruebas. En este caso, no hablamos de unos totales sino que los datos están dimensionados (propagación del sonido, reflexión de la luz,...) y son comparables. Esta estrategia experimental, como veremos más adelante, resuelve uno de los aspectos problemáticos de los estudios longitudinales.

En cualquier caso, las pruebas finales no tienen sentido en nuestro trabajo si no consideramos los datos obtenidos en el seguimiento de los cuadernos de trabajo, nuestra propia observación en la acción y las entrevistas realizadas.

En el caso de la prueba de contenidos actitudinales, como ya se justificó, se ha repetido. Por ello, no consideramos necesario incidir en ésta en el presente apartado.

C.2.4.3.1 Prueba de contenidos conceptuales y procedimentales

Después de la impartición de la enseñanza correspondiente al módulo de nuestra investigación, se les pasaron a los alumnos una serie de pruebas sobre los diversos contenidos trabajados en el mismo. Una de ellas lógicamente versaba sobre los contenidos conceptuales y procedimentales que estaban relacionados con las Ondas, el Sonido y la Luz. El objeto de éstas era el de averiguar qué conocimientos tenían los alumnos en ese momento y qué progresos se habían dado respecto a los obtenidos inicialmente.

La prueba constaba de veinte ítems. Fue elaborada de la misma manera que la inicial: seleccionando una serie de preguntas, cuestiones, problemas y actividades (extraídas textualmente) de diversos libros de texto de E.G.B., F.P. y B.U.P. Los ítems eran de distinto tipo (respuesta múltiple, definiciones, situaciones problemáticas, etc.) y, en todas ellas, no sólo debían elegir una opción o respuesta, sino que tenían que justificarla. El tiempo del que dispusieron fue de aproximadamente ciento diez minutos, que era la duración de dos sesiones seguidas en el I.F.P. de Molina de Segura.

Aunque la prueba se ha recogido en el Apéndice VI.1 nos interesa señalar algunos aspectos de la misma. Para facilitar esta descripción, vamos a utilizar, como hicimos en las pruebas iniciales, dos cuadros de doble entrada; uno para la parte de la prueba correspondiente a Ondas y Sonido, y otro para la parte dedicada a la Luz. En cada una de ellas van a figurar tres columnas; la primera hace referencia al ítem correspondiente, la segunda a los conceptos implicados en el mismo y la tercera a los procedimientos.

En el Cuadro 2.37 aparece la parte de la prueba que corresponde a los contenidos conceptuales y procedimentales relacionados con las Ondas y el Sonido. En el Cuadro 2.38 se presenta la segunda parte de esta prueba final. La clave de vaciado, semejante a la prueba inicial se recoge en el Anexo 7 de la Tesis

ONDAS Y SONIDO

Item	Conceptos implicados	Procedimientos
2.- Diseña una experiencia para comprobar que el sonido es un movimiento uniforme.	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo ondulatorio - Sonido - Propagación del sonido - Movimiento uniforme 	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño de experiencias - Reconocimiento de problemas
3.- Un muchacho golpea la vía del ferrocarril. Un compañero suyo escucha el sonido propagado por el hierro y por el aire. ¿Qué sonido escucha antes?, ¿Qué tiempo transcurre del uno al otro?. Distancia entre los dos niños, 1000 m.	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo ondulatorio - Dependencia del medio - Propagación del sonido - Velocidad del sonido - Movimiento uniforme 	<ul style="list-style-type: none"> - Reconocimiento de problemas - Interpretación de la información - Ejercicio numérico
5.- Un cazador efectúa un disparo a 500 m de un observador y éste tarda 2 s en oírlo. Deducir a partir de estos datos la velocidad del viento, razonando además, si sopla a favor o en contra (es decir en la dirección cazador-observador o viceversa).	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo ondulatorio - Propagación del sonido - Velocidad del sonido - Movimiento uniforme - Sentido 	<ul style="list-style-type: none"> - Reconocimiento de problemas - Interpretación de la información - Ejercicio numérico
<p>7.- a) ¿Cómo probarías que tu voz tiene su origen en una vibración y que el sonido emitido transporta energía?</p> <p>b) El medio de transmisión del sonido puede variar y también la velocidad de propagación. ¿Qué permanece constante en un sonido que se transmite por varios medios?</p> <p>c) Un tubo de goma se tensa y se atan sus extremos a dos puntos fijos. Después se da cerca de uno de sus extremos un golpe seco con el canto de una regla plana. ¿Qué tipo de movimiento se produce?.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo ondulatorio - Energía - Emisor - Características de las ondas - Producción del sonido - Propagación del sonido - Velocidad del sonido - Cualidades del sonido - Tipos de ondas - Ondas transversales 	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño de experiencias - Reconocimiento de problemas - Establecimiento de predicciones
8.- Todo el mundo sabe que los sonidos se oyen mejor debajo del agua. ¿Podrías dar una explicación a este hecho?	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo ondulatorio - Propagación del sonido - Velocidad del sonido 	<ul style="list-style-type: none"> - Reconocimiento de problemas
10.- Si le damos un golpe a un diapasón y luego tocamos la superficie del agua con dicho diapasón (ver Apéndice VI.1) seguro que se produce una onda sobre la superficie. Pero si la cosa se produce al revés, ¿se habría producido alguna onda sobre el diapasón?. ¡Explícalo detenidamente!.	<ul style="list-style-type: none"> - Emisor - Modelo ondulatorio - Tipos de ondas - Propagación del sonido - Velocidad del sonido - Intensidad del sonido 	<ul style="list-style-type: none"> - Observación de objetos y fenómenos - Reconocimiento de problemas - Establecimiento de predicciones
<p>11.- Explica el por qué de estas afirmaciones:</p> <p>b) En una habitación vacía es muy difícil entender lo que dice una persona</p> <p>c) El sonido puede sufrir refracción</p> <p>d) La velocidad de cualquier sonido en el vacío es cero</p> <p>e) El sonido se propaga mejor a más temperatura</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo ondulatorio - Propagación del sonido - Velocidad del sonido - Reflexión del sonido - Amortiguación del sonido - Reverberación - Refracción del sonido - Vacío - Temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> - Reconocimiento de problemas - Identificación y control de variables
<p>12.- Comenta las siguientes frases:</p> <p>a) La y el sonido son ondas.</p> <p>c) A mayor longitud de onda mayor velocidad.</p> <p>d) A mayor frecuencia mayor amplitud.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sonido - Modelo ondulatorio - Características de las ondas - Longitud de onda - Frecuencia - Amplitud - Velocidad de propagación 	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación y control de variables - Ejercicio numérico
13.- Imagínate que estamos soplando a través de una pajilla de tomar refrescos. ¿Cambiaría el sonido si la pajilla fuera más corta?, ¡explícalo!.	<ul style="list-style-type: none"> - Longitud - Emisor - Audición - Cualidades del sonido 	<ul style="list-style-type: none"> - Reconocimiento de problemas - Observación de objetos y fenómenos - Establecimiento de predicciones

Cuadro 2.37

LUZ

Item	Conceptos implicados	Procedimientos
4.- Observa la marcha de un rayo de luz a través de dos medios desconocidos (ver Apéndice VI.1): a) ¿podrías dibujar cómo continua el rayo?, explícalo; b) ¿qué conclusiones puedes sacar sobre el medio 1 y el medio 2?; c) ¿podría ser una situación real?, descríbela.	- Luz - Rayo luminoso - Ángulo - Propagación de la luz - Velocidad de la luz - Reflexión de la luz - Refracción de la luz	- Interpretación de la información - Representación simbólica - Establecimiento de conclusiones
6.- El índice de refracción del agua es 4/3 y el del vidrio 3/2. ¿En cual de esas sustancias se propaga la luz a mayor velocidad?, ¿Cual es mas refringente?.	- Propagación de la luz - Velocidad de la luz - Refracción de la luz - Índice de refracción	- Establecimiento de conclusiones - Ejercicio numérico
9.- Luisa y su profesor están discutiendo sobre la visión. (Ver Apéndice VI.1); ¿cual sería tu respuesta?, dibuja y explica.	- Propagación de la luz - Reflexión de la luz - Visión	- Observación de fenómenos - Reconocimiento de problemas
11.- Explica el por qué de estas afirmaciones: a) Los faros de los automóviles llevan detrás del foco luminoso un espejo parabólico.	- Propagación de la luz - Reflexión de la luz - Espejo parabólico	- Reconocimiento de problemas
12.- Comenta las siguientes frases: a) La luz y son ondas. b) La luz está formada por corpúsculos.	- Naturaleza de la luz - Modelo ondulatorio - Modelo corpuscular	- Reconocimiento de problemas
14.- Se ve la sombra de un florero cuando está iluminada por una bombilla que alumbrá muy poco. (Ver Apéndice VI.1). Luego se reemplaza la bombilla por otra que alumbrá mucho. ¿Cómo es la sombra que se ve con la bombilla que alumbrá muy poco, con respecto a la bombilla que alumbrá mucho? Justifícalo	- Foco luminoso - Propagación de la luz - Reflexión de la luz - Sombra - Formación de sombras - Intensidad de la luz	- Observación de objetos y fenómenos - Reconocimiento de problemas - Establecimiento de predicciones
15.- Se tiene en una casa una habitación pequeña y una muy grande, ambas con dos bombillas iguales en el techo. ¿Qué paredes estarán mas iluminadas? Justifícalo.	- Foco luminoso - Propagación de la luz - Reflexión de la luz - Intensidad de la luz	- Observación de objetos y fenómenos - Establecimiento de predicciones
16.- ¿Que zona de la pantalla estará iluminada? (Ver Apéndice VI.1)	- Foco luminoso - Propagación de la luz - Reflexión de la luz - Sombra y penumbra - Formación de sombras	- Observación de objetos y fenómenos - Representación simbólica - Establecimiento de conclusiones
17.- (ver Apéndice VI.1) ¿Desde qué ventanas, estando dentro, podemos ver la lámpara?, ¿Cuál de ellas es iluminada por la luz de la lámpara?, ¿Qué parte de la pantalla 2 está iluminada?. Explicar la respuesta.	- Foco luminoso - Visión - Propagación de la luz - Sombra y penumbra	- Observación de objetos y fenómenos
18.- La luz de una linterna se proyecta sobre una puerta y una mancha de luz blanca puede verse sobre la misma. Si se coloca una lámina transparente de cristal rojo aparece una mancha roja. Explica por qué cambia el color de la mancha de blanco a rojo. Añade un dibujo a tu explicación	- Foco luminoso - Visión - Color - Cuerpo transparente	- Observación de objetos y fenómenos - Reconocimiento de problemas - Establecim. conclusiones
19.- Cuando el Sol está delante de ti, ¿dónde está tu sombra?, explica detenidamente tu respuesta.	- Propagación de la luz - Foco luminoso - Cuerpo opaco - Sombras - Formación de las sombras	- Observación de objetos y fenómenos - Establecimiento de predicciones - Representación simbólica
20.- Señala en el dibujo siguiente, (ver Apéndice VI.1) la sombra del árbol que está en posición correcta.	- Propagación de la luz - Foco luminoso - Cuerpo opaco - Formación de las sombras	- Observación de objetos y fenómenos - Representación simbólics

Cuadro 2.38

Asimismo, se han delimitado los esquemas conceptuales a los que hicimos alusión en la prueba inicial. Como ya dijimos no sólo nos muestran las estructuras de razonamiento de los alumnos sobre estos temas sino que dimensionan los resultados finales para poder contrastarlos con los iniciales. El procedimiento de obtención fue exactamente igual a la prueba inicial y algunos ejemplos aparecen en el Anexo 4. Se mantuvieron los mismos tópicos y lógicamente hubo que ampliar el número de modelos o esquemas que habían aparecido a partir de nuestra intervención.

En el Cuadro 2.39 aparecen especificados los ítems de la prueba que guardan una relación más relevante con los esquemas.

Esquema	Ítems de la prueba final	Signaturas
Magnitudes Ondulatorias	7a, 7b, 12c, 12d y 13	MO-3, MO-4, MO-4c, MO-5, MO-5a, MO-7, MO-7a y MO-8
Propagación del Sonido	2, 3, 5, 8, 10, 11d, 11e y 12a	PS-1, PS-2, PS-3, PS-4, PS-5, PS-5a, PS-6, PS-6a, PS-7 y PS-7a
Reflexión del Sonido	11b, 12a	RS-1, RS-2, RS-2b, RS-3, RS-4, RS-5, RS-6 y RS-7
Naturaleza de la Luz	6, 11a, 12a, 12b, 15, 16, 17, 18, 19 y 20	NL-4a, NL-5, NL-6 y NL-6a
Propagación de la Luz	16 y 17	PL-1, PL-1a, PL-2, PL-2a, PL-3, PL-4, PL-4a, PL-5, PL-6, PL-6a y PS-7
Sombras	14, 19 y 20	S-1b, S-2, S-2a, S-3, S-3a, S-4 y S-5a
Reflexión de la Luz	4a, 11a, 14, 15 y 16	RL-1, RL-1a, RL-2, RL-3, RL-4 y RL-5
Refracción de la Luz	4a, 4b y 6	FL-3, FL-3a, FL-4, FL-4a, FL-4b, FL-5, y FL-6
Visión	9, 11a y 17	V-1, V-1a, V-3, V-4, V-4a y V-5

Cuadro 2.39

Tanto el esquema como el cardinal constituyen la signatura específica de cada alumno en la prueba final. La información dimensionada de esta forma nos ha permitido la comparación esquema inicial-esquema final de cara a valorar la eficacia de nuestra propuesta didáctica.

Para cuantificar los resultados de la prueba utilizamos, como en las pruebas iniciales de contenidos conceptuales y procedimentales, una escala entre cero y cuatro puntos, cuya descripción pasamos a relatar:

Cero: Era una respuesta que se podría considerar muy mala; es decir completamente incorrecta, que contenía deficiencias muy graves y cuyo desarrollo era prácticamente nulo.

Uno: Se trataba de una contestación que se podría considerar mala; es decir incorrecta, que contenía deficiencias importantes y que estaba parcialmente desarrollada.

Dos: Esta era una respuesta que se podría considerar regular; es decir tenía apreciaciones correctas, pero conteniendo algunas deficiencias y estaba desarrollada aunque no completamente.

Tres: En este caso la respuesta se podría considerar buena; es decir era correcta, conteniendo algunas deficiencias irrelevantes y estaba muy desarrollada aunque no de forma completa.

Cuatro: Se trataba de una respuesta que se podía considerar muy buena; es decir que, además de ser completamente correcta, contenía ideas originales o singulares y estaba totalmente desarrollada.

C.2.4.4 Prueba de retención

Además de las pruebas iniciales y finales, y del seguimiento del trabajo de los alumnos, se les pasó una prueba de retención y olvido cuyo objetivo, como su nombre indica, es tratar de averiguar lo que queda de lo aprendido después de que hubiera transcurrido un cierto tiempo.

Consideramos muy importante para una investigación como la nuestra, uno de cuyos objetivos era lograr que los alumnos llegaran a alcanzar un verdadero aprendizaje significativo, realizar este tipo de pruebas. De esta manera, a la vez que creemos actuar coherentemente con los presupuestos de nuestra propuesta didáctica, evitamos en las respuestas de los alumnos que la memoria inmediata tenga más importancia de la que le corresponde.

Dicha prueba fue extraída de las pruebas finales de contenidos conceptuales y procedimentales y constaba de diez ítems. La selección de los ítems de la prueba de retención y olvido no la llevamos a cabo nosotros, sino que contamos con la colaboración de cinco profesores de Física y Química de Enseñanza Media (tres de ellos destinadas en el propio I.F.P. de Molina de Segura en el curso en el que se pasó la prueba de retención) y de otros cinco profesores del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Murcia (tres de los cuales eran doctores).

El procedimiento fue sencillo: les entregamos a cada uno de ellos la prueba final de contenidos conceptuales y procedimentales, indicándoles que eligieran de los veinte ítems que en ella aparecían, los diez que consideraran más relevantes para el estudio de las Ondas, Sonido y Luz (aunque uno de ellos, el profesor 9, eligió once). Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 2.3

Item	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Prof.1</i>	X		X	X			X	X	X	X				X		X		X	
<i>Prof.2</i>			X	X		X			X	X	X	X		X	X		X		
<i>Prof.3</i>	X	X	X			X		X		X		X		X		X	X		
<i>Prof.4</i>	X		X	X			X	X		X		X		X		X		X	
<i>Prof.5</i>		X	X	X			X		X	X		X	X	X			X		
<i>Prof.6</i>	X		X		X	X			X	X	X			X		X		X	
<i>Prof.7</i>			X		X		X	X	X		X		X			X	X	X	
<i>Prof.8</i>		X	X	X		X		X	X	X		X		X				X	
<i>Prof.9</i>	X	X		X			X			X		X	X	X		X		X	X
<i>Prof.10</i>	X		X	X	X	X	X			X				X		X		X	

Tabla 2.3

En el Tabla 2.4 se sintetizan las elecciones realizadas. Aunque podríamos entrar a analizar qué hay detrás de los criterios de selección utilizados por los profesores, no es objeto de nuestra investigación. En cualquier caso, nos parece que, detrás de un modelo de evaluación, hay una forma de concebir el proceso educativo y desde luego, en nuestro caso, se puso de manifiesto.

Item	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<i>Nº prof</i>	6	4	9	7	3	5	6	5	6	9	3	6	3	9	1	7	4	7	1

Tabla 2.4

Los ítems seleccionados (en negrita) lógicamente fueron los mayoritariamente elegidos por los profesores. Hay que resaltar que los resultados eran bastante concordantes, observándose que al menos seis profesores

seleccionaron cada uno de los ítems de la prueba de retención. Estos eran los números 2, 4, 5, 8, 10, 11, 13, 15, 17 y 19 que recogemos, de la misma forma que hicimos con las otras pruebas en el cuadro 2.40. Aparece en el formato aplicado a los alumnos en el Apéndice VII.

Item	Conceptos implicados	Esquemas	Procedimientos
2.- Diseña una experiencia para comprobar que el sonido es un movimiento uniforme.	- Modelo ondulatorio - Sonido - Propagación sonido - Movimiento uniforme	- Magnitudes ondulatorias - Propagación del sonido	- Diseño de experiencias - Reconocimiento de problemas
4.- Observa la marcha de un rayo de luz a través de dos medios desconocidos (ver Apéndice VII): a) ¿podrías dibujar cómo continua el rayo?, explícalo; b) ¿qué conclusiones puedes sacar sobre el medio 1 y el medio 2?; c) ¿podría ser una situación real?, descríbela.	- Luz - Rayo luminoso - Ángulo - Propagación luz - Velocidad luz - Reflexión luz - Refracción luz	- Propagación de la luz - Reflexión de la luz - Refracción de la luz	- Interpretación de la información - Representación simbólica - Establecimiento de conclusiones
5.- Un cazador efectúa un disparo a 500 m de un observador y éste tarda 2 s en oírlo. Deducir a partir de estos datos la velocidad del viento, razonando además, si sopla a favor o en contra	- Modelo ondulatorio - Propagación sonido - Velocidad sonido - Movimiento uniforme - Sentido	- Magnitudes ondulatorias - Propagación del sonido	- Reconocimiento de problemas - Interpretación de la información - Ejerc.numérico
8.- Todo el mundo sabe que los sonidos se oyen mejor debajo del agua. ¿Podrías dar una explicación a este hecho?	- Modelo ondulatorio - Propagación sonido - Velocidad sonido	- Magnitudes ondulatorias - Propagación del sonido	- Reconocimiento de problemas
10.- Si le damos un golpe a un diapasón y luego tocamos la superficie del agua con dicho diapasón (ver Apéndice VII) seguro que se produce una onda sobre la superficie. Pero si la cosa se produce al revés, ¿se habría producido alguna onda sobre el diapasón?. ¡Explícalo !.	- Emisor - Modelo ondulatorio - Tipos de ondas - Propagación sonido - Velocidad sonido - Intensidad sonido	- Magnitudes ondulatorias - Propagación del sonido	- Observación de fenómenos - Reconocimiento de problemas - Establecimiento de predicciones
11.- Explica el por qué de estas afirmaciones: a) Los faros de los automóviles llevan detrás del foco luminoso un espejo parabólico.	- Propagación luz - Reflexión luz - Espejo parabólico	- Propagación luz - Reflexión luz	- Reconocimiento de problemas
b) En una habitación vacía es muy difícil entender lo que dice una persona c) El sonido puede sufrir refracción d) La velocidad de cualquier sonido en el vacío es cero e) El sonido se propaga mejor a más temperatura	- Modelo ondulatorio - Propagación sonido - Velocidad sonido - Reflexión sonido - Reverberación - Refracción sonido - Vacío - Temperatura	- Magnitudes ondulatorias - Propagación del sonido - Reflexión del sonido	- Reconocimiento de problemas - Identificación y control de variables
13.- Imagínate que estamos soplando a través de una pajilla de tomar refrescos. ¿Cambiaría el sonido si la pajilla fuera más corta?, ¡explícalo!.	- Longitud - Emisor - Cualidades del sonido	- Magnitudes ondulatorias	- Recon. problem. - Observación - Estab. predicc.
15.- Se tiene en una casa una habitación pequeña y una muy grande, ambas con dos bombillas iguales en el techo. ¿Qué paredes estarán mas iluminadas? Justifícalo.	- Foco luminoso - Propagación luz - Reflexión luz - Intensidad luz	- Propagación de la luz - Reflexión de la luz	- Observación de fenómenos - Establecimiento de predicciones
17.- (ver Apéndice VII) ¿Desde qué ventanas, estando dentro, podemos ver la lámpara?, ¿Cuál de ellas es iluminada por la luz de la lámpara?, ¿Qué parte de la pantalla 2 está iluminada?.	- Foco luminoso - Visión - Propagación luz - Sombra y penumbra	- Propagación de la luz - Sombras - Visión	- Observación de objetos y fenómenos
19.- Cuando el Sol está delante de ti, ¿donde está tu sombra?, explica detenidamente tu respuesta.	- Propagación luz - Foco luminoso - Cuerpo opaco - Sombras y formación	- Propagación de la luz - Reflexión de la luz - Sombras	- Observación - Establ. predicc. - Representación simbólica

Cuadro 2.40

Para la resolución de la prueba los alumnos dispusieron de ciento diez minutos, que era la duración de dos sesiones seguidas en el I.F.P. de Molina de Segura en esos momentos. No obstante, en ningún caso se completó este tiempo.

Para cuantificar los resultados de la prueba utilizamos, como en las iniciales y finales, una escala entre cero y cuatro puntos, cuya descripción ha quedado relatada en el apartado anterior. La clave de vaciado aparece en el Anexo 7.

C.2.5 TESTS ESTADÍSTICOS EN EL TRATAMIENTO DE DATOS

Obviamente el trabajo en el aula del profesor y del alumno está lleno de matices, situaciones, experiencias, contrastes de ideas,... Tratar de indagar en una realidad tan rica y compleja no es una tarea fácil por el cúmulo de variables que se solapan; pero, pretender analizarla en bloque, es prácticamente imposible por la gran cantidad de variables que arrastra. Es preciso, pues, buscar sistemas lo más ajustados posibles, que permitan sintetizar dicha realidad aunque esto hace que inexorablemente se pierda información de una gran relevancia.

En nuestro caso, hemos tratado de mantener los datos en un su estado más original. De hecho, en cada una de las pruebas, entrevistas, cuadernos de trabajo,... se ha realizado el vaciado tratando que la distancia entre la respuesta dada por el alumno y el "dato operativo" fuera mínima. Por ello, aparecen muchos estudios descriptivos o cualitativos en los que se han respetado las declaraciones originales, aún asumiendo el riesgo de una mayor diversidad en las posibles categorías usadas en la descripción. En ellos, obviamente no hemos utilizado nada más que porcentajes y frecuencias (S.H.1.1, S.H.1.2, S.H.1.3, S.H.2.1, S.H.2.2, S.H.3.1, S.H.3.2 y S.H.3.4).

No obstante, de cara a tener una percepción más cómoda del grupo o para estudiar sus resultados globalmente, ha sido necesaria la cuantificación de la información recogida. En éste ámbito, hemos usado habitualmente la estadística no-paramétrica dadas las dificultades y limitaciones que presentan los datos de referencia. Al ser mucha la información recogida se ha utilizado el paquete estadístico SYSTAT (Windows) en el tratamiento informático de los datos; en concreto, se han usado los módulos Data y Statistics. Aunque presenta algunas limitaciones, existe una tradición del mismo en nuestro contexto educativo que ha favorecido su elección, siempre lógicamente como instrumento de ayuda en el tratamiento de la información y nunca como un fin, en sí mismo, de la investigación.

Nivel de significación: α

A lo largo de la investigación se precisan contrastes longitudinales (S.H.4.1 y S.H.4.3), estudios de correlaciones (S.H.1.4, S.H.3.3 y S.H.4.2), análisis de características de la homogeneidad de la aplicación (S.H.2.2), etc., que están condicionados por el nivel de significación estadístico que elijamos. En concreto, es preciso determinar el valor de α que representa el riesgo de error asumido en las decisiones que tomemos.

Es habitual utilizar, en aplicaciones estadísticas, valores de $\alpha = 0.01$ y $\alpha = 0.05$. Según se reproduce en la obra de Downie y Heath (1982), M^c Nemar se expresa en el sentido de que "algunos investigadores, al aceptar algunas hipótesis de nulidad (H_0), son extremadamente conservadores y desprecian resultados significativos". Además, indican que "los que defienden el nivel $\alpha = 0.05$, citan a Fischer, autoridad en la materia pero olvidan decir que los trabajos de éste pertenecen a la Agricultura y a la Biología, donde el muestreo se controla mejor que en las Ciencias Sociales".

Nosotros hemos optado por tomar, con carácter general, el valor $\alpha = 0.05$ aunque no hemos tenido inconveniente en considerar aceptable hasta $\alpha = 0.10$. En estos casos se ha especificado el riesgo de error que asumíamos.

Técnica de bondad de ajuste

En los estudios de dificultad de items hemos "debido" analizar la bondad de ajuste de una distribución de datos respecto a una específica, que puede ser fijada por la literatura científica. En este análisis, hemos utilizado la prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra independiente, que nos dice si razonablemente puede pensarse que los puntajes obtenidos en nuestra investigación tienen dicha característica.

En el mismo, se estudian las desviaciones de los porcentajes acumulados de las diferentes categorías establecidas respecto a los esperados, según la distribución teórica de referencia. Seleccionado el valor D_{\max} , se contrasta con el $D_{\text{crítico}}$ establecido en tablas y se toman decisiones en cuanto a la probabilidad de que la divergencia existente sea o no debida al azar.

Hay que señalar que una prueba, como la χ^2 de Pearson, no ha podido ser aplicada por la existencia de limitaciones: más del 20% de las frecuencias esperadas eran menores que 5. Además Siegel (1980) señala que es de menor potencia que la de Kolmogorov-Smirnov y, que ésta, presenta menos limitaciones de uso.

Técnica de estudio de correlaciones

En aquellas hipótesis en las que ha sido necesario el estudio de relaciones entre dos o más variables se ha utilizado el coeficiente de correlación de Spearman. Es una medida de asociación que requiere que las variables sean, como mínimo, ordinales. Su expresión matemática es:

$$\rho_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N d_i^2}{N^3 - N}$$

donde d_i son las diferencias de rango
N es el número de pares.

Cuando existen ligas entre los valores, se realiza una pequeña conversión en esta expresión que generalmente afecta poco a la decisión estadística. Aunque los valores obtenidos se diferencian poco del coeficiente de Pearson-Bravais, hemos preferido el primero por el menor número de exigencias que plantea su utilización y por la tipología de las variables que se han puesto en juego.

Técnicas de contraste de diferencias entre dos muestras

En varias subhipótesis de la H.P.4 o en los análisis de discriminación de las pruebas se han realizado contrastes entre los resultados obtenidos en dos variables del mismo grupo o en la misma variable de grupos diferentes. En estos casos es preciso estudiar la significación de las posibles diferencias sin obviar las limitaciones impuestas por el tipo de escala que asumamos. Nosotros hemos trabajado generalmente con variables ordinales, por lo que nos ha parecido ineludible el uso de técnicas no paramétricas que cumplen esta función.

Para el contraste de dos muestras independientes hemos utilizado la U de Mann-Whitney. Sus condiciones de aplicabilidad (escala ordinal, mismas dimensiones y n_1 y n_2 similares) no han sido ningún obstáculo para su cálculo, a lo que hay que añadir que es una de las pruebas estadísticamente más poderosas, según reconoce Siegel (1980). Su expresión matemática es:

$$U_1 = N_1 N_2 + \frac{N_1(N_1+1)}{2} - R_1$$

U_i más pequeño de

$$U_2 = N_1 N_2 + \frac{N_2(N_2+1)}{2} - R_2$$

donde R_1 y R_2 son las sumas de los rangos
 N_1 y N_2 el número de sujetos

Puesto que N_1 y N_2 han sido, en muchos casos, mayores que 20, se ha aplicado la conversión en puntuaciones tipificadas.

$$Z = \frac{\frac{U_i - N_1 N_2}{2}}{\sqrt{\frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12}}}$$

Al igual que en otros estadísticos, el efecto de las ligas puede afectar sensiblemente al resultado numérico pero rara vez a la decisión estadística si consideramos los niveles de α propuestos. La potencia de la U es menor lógicamente a la de la t de Student o a la de la razón crítica de diferencia de medias, pero no tiene las exigencias de escala de intervalo, homogeneidad de la varianza y distribución normal.

En el contraste de dos muestras dependientes hemos utilizado la T de Wilcoxon. Sus condiciones de aplicabilidad (escala ordinal y mismas dimensiones) no han sido obstáculo para nuestra investigación. También resulta una prueba potente dentro de la estadística no-paramétrica. Su expresión matemática es:

$$T_i \text{ más pequeño de } \begin{aligned} T(+) &= \sum R_d(+) \\ T(-) &= \sum R_d(-) \end{aligned}$$

donde R_d es la suma de rangos del mismo signo de la desviación

Dado que el número de puntajes es superior a 25 en todos los casos en que lo hemos aplicado, se realiza la conversión en la correspondiente puntuación tipificada, de manera que:

$$Z = \frac{T - \frac{N(N+1)}{4}}{\sqrt{\frac{N(N+1)(2N+1)}{24}}}$$

También aquí el efecto de las ligas puede afectar sensiblemente al valor numérico resultante, pero no a la decisión estadística en los términos en los que la hemos formulado.

Técnicas de contraste entre más de dos muestras independientes

Para el estudio de la homogeneidad de la aplicación de la metodología tuvimos que realizar un contraste entre tres grupos independientes. Por ello, usamos el análisis de varianza de Kruskal-Wallis. Su finalidad es comprobar si las diferencias entre los tres muestras presentan significación o son simples variaciones aleatorias. La aplicación de la prueba supone que existan variables ordinales; al calcularse, sustituye los puntajes por rangos y opera con ellos. Su expresión matemática es:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^K \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1)$$

donde K es el número de muestras
 n_j es el número casos de la muestra j
 R_j es la suma de los rangos en la muestra j
 $N = \sum n_j$ es el número total de casos.

Cuando los valores de n_j son superiores a 5 ó $K \geq 3$, la decisión estadística resulta de la conversión en valores de χ^2 de Pearson. Al igual que en otros tests estadísticos no-paramétricos la anterior expresión tiene una sensible modificación cuando existen ligas. Hay que hacer notar que cuando $K=2$, la prueba de Kruskal-Wallis toma la forma de la U de Mann-Whitney.

Técnica de análisis de las pruebas utilizadas

En varias de las subhipótesis se plantea la adecuación de las pruebas utilizadas a las características exigibles desde la literatura científica. Aunque para nosotros la intencionalidad primera -recoger una información útil para muestra investigación- está ampliamente cumplida, nos ha parecido conveniente utilizar estos criterios de análisis con el fin de contextualizar cuantitativamente el marco de los resultados numéricos.

En el análisis de las pruebas los elementos a considerar, desde una perspectiva estadística, han sido: fiabilidad, dificultad, discriminación y validez.

Fiabilidad

Para el estudio de la fiabilidad se recurrió a la técnica de mitades (ítems pares e impares según un criterio aleatorio) y consiguientemente el cálculo de la consistencia interna mediante la expresión de Spearman-Brown:

$$r_{vv} = \frac{2r_{ip}}{1+r_{ip}}$$

donde r_{vv} es la fiabilidad de la prueba
 r_{ip} es el coeficiente de correlación entre ítems pares-impares

Según Downie y Heath (1982), este parámetro nos permite estudiar si el error lógico que tiene una medida es de carácter aleatorio o presenta fluctuaciones debidas a errores sistemáticos, citando algunos posibles: contestar sin pensar, equivocarse al leer una cuestión, influencia de los factores físicos o emocionales,... Aunque es más propio de estudios de pruebas objetivas, no ha sido obstáculo aplicarlo en nuestro caso.

Dificultad de los ítems

Para el análisis de la dificultad de los ítems se necesitaba una distribución idónea desde una perspectiva teórica. Al respecto, se ha usado la propuesta por Yela y Garret (1982). En concreto ellos establecen una distribución del tipo que aparece en la Tabla 2.5.

Dificultad	Muy difícil	Difícil	Normal	Fácil	Muy fácil
%	10	20	40	20	10

Tabla 2.5

Como posteriormente justificaremos, este índice de dificultad sólo se aplicará al caso de la prueba final puesto que los conocimientos de los alumnos situarían la mayoría de las respuestas de estos, en la prueba inicial, dentro de las dos primeras categorías. La bondad de ajuste se realiza mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov ya mencionada.

Discriminación

Para el análisis de la discriminación se ha realizado un contraste de significación de diferencias entre los grupos superior e inferior de la muestra, según su rendimiento global. En el procedimiento utilizado se tuvieron en cuenta las aportaciones de Kelly, recogidas por Downie y Heath (1982). Según aquel, hay que seleccionar un 27% de alumnos del grupo de mejores resultados y otro 27% de los peores, y estudiar sus diferencias.

Nosotros hemos realizado este contraste ítem a ítem, manteniendo los grupos que se derivaban del resultado global de la prueba. Para el contraste entre los subgrupos se ha utilizado la U de Mann-Whitney ya mencionada.

Validez

Para el estudio de la validez estadística, hemos usado la técnica del análisis factorial, previo estudio de la esfericidad de Barlett. La expresión matemática de esta última es:

$$\chi^2 = -\left[n - 1 - \frac{1}{6}(2V + 5)\right] \ln |R|$$

donde n es el número de sujetos de la muestra

V es el número de variables

|R| es el determinante de la matriz de correlaciones.

Un valor de χ^2 alto supone que existen intercorrelaciones significativas y que, por lo tanto, la matriz de datos resulta adecuada para nuestros propósitos.

La técnica de análisis factorial se emplea para el estudio y la interpretación de las correlaciones existentes en un grupo de variables. Con ella se extraen unos factores en los que subyacen características comunes de los ítems que los componen. Nosotros hemos decidido utilizar el análisis de componentes principales, la técnica Varimax, un valor mínimo de 1 para los valores propios de la varianza y un nivel de saturación de 0.5. En cualquier caso, consideramos que la estructura factorial resultante debe explicar un porcentaje alto de la varianza (más del 70%).

CAPÍTULO III

En el Capítulo 1 hemos pretendido delimitar cuáles son los problemas e hipótesis de nuestra investigación. En el segundo se han descrito los elementos que intervienen en nuestro diseño experimental: características de la muestra, variable independiente, variables dependientes, técnicas de tratamiento de los datos,... A partir de éste, iremos incidiendo en los resultados obtenidos. Como dijimos, dada la extensión de las Hipótesis, hemos creído conveniente asignarle a cada una de ellas un capítulo independiente. En todos los casos, empezaremos recordando la declaración efectuada en el apartado 1.4; también vamos a mantener la estructura en subhipótesis señaladas en su momento.

En este Capítulo 3 nos centraremos en la Hipótesis Principal Uno. Para ello, describiremos cualitativamente los resultados obtenidos en las pruebas iniciales para los distintos tipos de contenidos; en el caso de los conocimientos conceptuales inferiremos los esquemas correspondientes (SH.1.1, SH.1.2 y SH.1.3)

También en cada prueba se realizarán los estudios cuantitativos que nos permitirán una percepción más globalizada de la situación. Por último, llevamos a cabo el análisis psicométrico de los instrumentos de evaluación con el fin de estudiar si se acomodan a las exigencias de la literatura científica en cuanto a fiabilidad y discriminación (SH.1.4).

C.3.1 HIPÓTESIS PRINCIPAL UNO: RESULTADOS DE LAS CONDICIONES INICIALES

La Hipótesis Principal Uno (HP1) decía:

Los conocimientos de los alumnos respecto a las Ondas, al Sonido y la Luz son escasos y poco estructurados.

Dicha hipótesis estaba desarrollada en una serie de subhipótesis (SH) que trataban de estructurar el estudio de las condiciones iniciales en relación con las características de los alumnos respecto a los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales. Para ello, se les pasaron las pruebas descritas en los apartados 2.4.1.1, 2.4.1.2 y 2.4.1.3. Las subhipótesis eran:

Subhipótesis Uno (SH. 1.1) : Los conocimientos de los alumnos, respecto a los contenidos conceptuales respecto a las Ondas, el Sonido y la Luz son escasos y poco estructurados.

Subhipótesis Dos (SH. 1.2): Los conocimientos de los alumnos respecto a los contenidos procedimentales de las Ondas, el Sonido y la Luz son escasos y poco estructurados.

Subhipótesis Tres (SH. 1.3): Las actitudes de los alumnos respecto a la Ciencia y a los científicos pueden considerarse poco favorables para favorecer el aprendizaje de conocimientos científicos.

Subhipótesis Cuatro (SH. 1.4): Los instrumentos de evaluación utilizados en las pruebas iniciales de nuestra investigación reúnen las condiciones exigibles desde la literatura científica.

C.3.2 RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA S.H.1.1: PRUEBA INICIAL DE CONTENIDOS CONCEPTUALES

La primera descripción de los resultados de la prueba inicial de contenidos conceptuales la hemos hecho ítem por ítem. Se trató de establecer las características más singulares de las respuestas que dieron los alumnos. También hay que indicar igualmente que, en los casos en los que lo considerábamos conveniente, hemos incluido las respuestas textuales de los alumnos.

Como dijimos, la distinción entre conceptos y esquemas conceptuales viene fundamentada en nuestra creencia de que los alumnos no sólo utilizan conceptos, sino que estos están relacionados entre sí en unas estructuras, muchas veces de forma singular, pero que para ellos tienen una lógica. Pretendemos con ello, no sólo detectar cuáles son los conceptos que conocen y que son capaces de utilizar correctamente, sino de averiguar también la forma en que los estructuran mentalmente.

Para determinar el estudio cuantitativo de los resultados hemos utilizado los instrumentos descritos en el apartado 2.5 del capítulo anterior. Con los datos obtenidos y utilizando el paquete estadístico SYSTAT, se han determinado los estadísticos básicos (media, nº de casos, máximo, mediana, etc.), extrayendo consecuencias no sólo para el contraste de la subhipótesis sino para la propia elaboración del módulo de aprendizaje, objeto de esta investigación.

C.3.2.1. Descripción de los resultados de la prueba inicial de contenidos conceptuales (por ítems)

Como se dijo en el apartado 2.4.1.1, la prueba inicial constaba de 20 ítems. No obstante, se fraccionó para no cansar excesivamente a los alumnos y se les pasó en dos momentos diferentes. Aunque estaba dividida en dos partes (por un lado, Ondas y Sonido y, por otro, Luz) aquí se analizan conjuntamente. Hay que señalar, en primer lugar, que la mayoría de los alumnos contestaron casi todos los ítems, por lo que podemos suponer que eran preguntas que consideraban asequibles. El vaciado se hizo de acuerdo con la clave expuesta en el Anexo 3.1. Las características más relevantes de las respuestas fueron las siguientes:

a) Respecto al ítem 1 (*Pon cinco ejemplos de movimientos ondulatorios*)

- De aquellos que contestaron a la pregunta, lo hicieron de forma aceptable menos de la mitad (18/43), por lo que podemos suponer (al tratarse solamente de nombrar los ejemplos, sin justificar su respuesta) que en general no identificaban lo que es una onda.
- Los alumnos pusieron en total 121 ejemplos (2.8/alumno), de los cuales 102 se pueden considerar correctos. Los más repetidos en las respuestas hacían alusión a las ondas materiales (66/102), sobre todo al sonido que apareció de manera explícita o implícita (toser, la voz, ruido, eco, golpes, etc).
- Los ejemplos más frecuentes de ondas electromagnéticas fueron los de radio, luz y televisión que aparecieron en 8 ocasiones cada uno, mientras que corriente alterna solo lo nombraron 3 alumnos (a pesar de tratarse de alumnos de las ramas de Electricidad y Electrónica).
- Muchos confundían la onda con el generador o el receptor de onda correspondiente: voz, antena, cuerdas vocales, emisora, etc.

Entre las respuestas hubo ejemplos curiosos o extraños como: "Una aguja de reloj", "Una sirena", "El aire", "El arco iris", "El agua", "El mar", "Los pájaros moviendo las alas" o, incluso, "Las patatas matutano".

b) Respecto al ítem 2 (*En un movimiento ondulatorio ¿hay transporte de: a) materia?, b) energía?, c) ambas cosas?, d) ninguna de ellas?. Explica tu respuesta.*)

- La mayoría, independientemente de cual fuera la opción elegida en su respuesta, no fueron capaces de justificarla. Así, de los muchos alumnos (26/43) que creían que un movimiento ondulatorio llevaba implícito un transporte de energía, prácticamente ninguno explicó su elección; del grupo menos numeroso de alumnos (13/43) que creían que se producía un transporte de materia y de los que creían que un movimiento ondulatorio no lleva implícito ni transporte de materia ni de energía (12/43) tampoco.

- De los pocos que justificaron su respuesta, ninguno lo hizo de forma aceptable; sólo algunos (7/43) lo hicieron de forma parcialmente satisfactoria o a través de ejemplos, cuyos comentarios más significativos transcribimos a continuación:

"Necesita energía para poder moverse en el espacio"

"Porque en el ejemplo de corriente alterna lo que se transporta es energía"

"Cuando un receptor capta una onda, este capta la energía que transporta esa onda"

"Debido a que estas ondas están produciendo un movimiento"

"No puede ser un transporte de materia porque las ondas no están formadas ni compuestas por nada".

Todo ello, tanto por el gran número de respuestas erróneas, como por la ausencia prácticamente absoluta de justificaciones y la poca consistencia de las mismas, nos hace suponer que, en general, no conocen lo que es un movimiento ondulatorio.

c) Respecto al ítem 3 (*Cuando escuchas la radio, seguro que has oído hablar de frecuencia y de longitud de onda. ¿Qué significan para ti esos términos?*).

- De los muchos que contestaron a la parte de la pregunta que trataba de la frecuencia (36/43), la mayoría lo hizo de forma incorrecta, 17 de los cuales la identificaron con un canal o una emisora de radio exclusivamente y sólo 6 respondieron de forma correcta.

- En cambio, a la parte de la pregunta que trataba sobre la longitud de onda, contestaron 27 alumnos y sólo uno de forma correcta. La interpretación errónea más habitual fue la de confundir la longitud de onda con el alcance de dicha onda.

Todo ello parece indicar que, a pesar de ser términos habituales para alumnos de las ramas de Electricidad y Electrónica de Formación Profesional, realmente no conocen el significado científico de ambas magnitudes físicas.

d) Respecto al ítem 4 (*¿Cuál es la velocidad del sonido en el vacío?. ¿Crees que es superior a la velocidad del sonido en el agua?. ¿Por qué?*).

- Bastantes alumnos (34/43) contestaron a la pregunta, pero solamente lo hacen de forma correcta tres de ellos:

"En el vacío no se puede propagar el sonido, necesitamos aire, moléculas que puedan transmitir una perturbación"

"En el vacío no tiene ninguna velocidad, ya que se encontraría sin aire y no se podría desplazar, por lo que no es superior a la velocidad del sonido en el agua, ya que en el agua se desplaza", etc.

- Otros cuatro lo hacen de forma parcialmente correcta:

"En el vacío no hay sonido y no se puede propagar, y en el agua lo que se produce es un movimiento"

"No sé cuál es la velocidad del sonido en el vacío, pero no creo que sea mayor que la velocidad del sonido en el agua porque en el agua los átomos están más unidos y por lo tanto es más fácil pasar", etc.

- La mayoría de los alumnos (21/43) dejan entrever en sus comentarios la utilización de un modelo

corpúscular para justificar sus respuestas y, por eso, defienden que la velocidad del sonido en el agua es menor que en el vacío; en dicho medio, bien sea por la resistencia o por la densidad, la dificultad de propagación del sonido es mayor y, por tanto, la velocidad en el agua será menor.

e) Respecto al ítem 5 (*Cuando un avión "rompe la barrera del sonido" se produce un gran estruendo, rompiéndose incluso los cristales de algunas ventanas. ¿Podrías dar una explicación a este hecho?*).

- Bastantes alumnos (16/43) no contestaron a la pregunta, por lo que podemos suponer que no la consideraban asequible; parece lógico, teniendo en cuenta la complejidad de la misma.

- Hay que considerar que 10 alumnos de los que dan una respuesta lo hacen sin responder realmente:

"Porque el avión sobrepasa la velocidad del sonido"

"Porque el avión va a más velocidad de la que le permite la barrera del sonido", etc

Y otros lo hacen de manera absurda:

"Porque las ondas producidas son muy potentes"

"Porque pasa lo mismo que cuando vas en bici y te pasa cerca una camion y te tira hacia un lado"

"Porque al superar la barrera del sonido se produce una serie de cambios en el sonido que hace que se mueva más rápido", etc.

- El nivel de las respuestas de los que han contestado ha sido bastante bajo, ya que solamente otros 10 alumnos responden de forma parcialmente aceptable:

"Porque el avión va a más velocidad que la del sonido y eso produce como un gran choque que rompe algunos cristales"

"Porque va más rápido que el sonido que produce su avión y eso produce un choque entre ondas que es lo que nosotros oímos, ese estruendo", etc.

La conclusión a la que llegamos es que los alumnos de nuestra muestra no disponen de un cuerpo de conocimientos suficiente para abordar una pregunta de estas características.

f) Respecto al ítem 6 (*¿De qué factores depende la intensidad de un sonido?: a) de la temperatura, b) de la densidad del medio, c) de las características de la onda, d) de la masa del cuerpo que vibra*).

- Muchos (18/40) creen que la intensidad del sonido depende de las características de la onda, por lo que eligieron la opción C únicamente o la incluyeron entre las diversas opciones que habían seleccionado.

- Un grupo numeroso (16/40) cree que la intensidad del sonido depende de la densidad del medio, por lo que eligieron únicamente la opción B o la incluyeron entre las opciones que habían seleccionado.

- Otros (11/40) creen que la intensidad del sonido depende de la masa del cuerpo que vibra, por lo que eligieron únicamente la opción D o la incluyeron entre las diversas opciones seleccionadas.

- Muy pocos alumnos (5/40) creen que la intensidad del sonido depende de la temperatura, por lo que eligieron únicamente la opción A o la incluyeron entre las diversas opciones que habían seleccionado.

Tanto por la gran variedad de las respuestas y su falta de consistencia, como por la ausencia de justificaciones adecuadas de las mismas, consideramos que los alumnos tienen más dificultades de las previstas, a la vista de los programas oficiales desarrollados en niveles anteriores del sistema educativo.

g) Respecto al ítem 8 (*Seguro que alguna vez has estado en algún sitio en que hubiera eco. ¿Pero podrías decir que es el eco?: a) una propiedad de las montañas, b) una cualidad propia del sonido, c) un fenómeno de reflexión del sonido d) un fenómeno de amortiguación del sonido. Explica tu respuesta.*)

- Ningún alumno cree que el eco sea una propiedad de las montañas y casi ninguno (3/41) que sea una cualidad del sonido. Las demás respuestas se pueden encuadrar en dos grandes grupos. Por un lado hay 20 que creen que es un fenómeno de amortiguación del sonido y, por otro, 18 para los que es un fenómeno de reflexión.

- Respecto al grupo de los que creen que el eco es un fenómeno de amortiguación del sonido, hay que decir que la mayoría (16/20) lo justifican, aunque de manera incompleta o confusa:

"Porque las ondas del sonido al llegar a la montaña rebotan en ella y vuelven hacia atrás"
"Oyes el sonido, pasa, rebota en una pared gruesa, no pasa por la pared, rebota y vuelves a oírla"
"Al lanzar tus ondas, rebotan en la pared o en la montaña y vuelven a ti y las escuchas"
"El sonido se amortigua y rebota contra las rocas", etc.

- Respecto a los que creen que el eco es un fenómeno de reflexión del sonido hay que decir que lo justifican también la mayoría (15/18)

"Es cuando tú mandas un sonido, la onda rebota y vuelve a ti"
"Al emitirse una onda de sonido, ésta al chocar con un cuerpo se refleja y produce el eco con menos frecuencia"
"Creo que es igual que una pelota, que cuando la tiras a la pared vuelve pero con menos fuerza, por eso cuando oímos el final de una palabra que hemos dicho es porque la palabra la hemos terminado con más intensidad", etc.

Paradójicamente las justificaciones de ambos grupos son las mismas (haciendo referencia a los rebotes de las ondas, pero sin tener en cuenta el tiempo), lo que induce a pensar que las diferencias entre ambos pueden ser más de tipo semántico que conceptual.

h) Respecto al ítem 9 (*Se pulsan con la misma fuerza dos violines exactamente iguales en el mismo sitio de la cuerda. ¿En que se diferencian los sonidos correspondientes?: a) en la intensidad, b) en el tono, c) en el timbre, d) en nada. Explica tu respuesta*)

- La mayoría de los que responde (23/43) creen que los sonidos no se diferencian en nada, y lo justifican diciendo que, si son iguales, producirán la misma onda.

- Otros 7 alumnos creen que los sonidos se diferencian en la intensidad, a pesar de que el enunciado de la pregunta dice claramente que los dos violines se pulsan con la misma fuerza. Esto puede atribuirse a la dificultad que a estas edades tienen para interpretar un texto, o a que no relacionan la fuerza con que se toca el violín con la intensidad del sonido que produce.

- Sólo 6 alumnos responden aceptablemente, ya que creen que los sonidos sí se diferencian. Aunque no todos nombran explícitamente el timbre, dan una justificación que, pese a ser incompleta, se puede considerar válida:

"Porque no hay nada en el mundo que produzcan ondas iguales"
"Porque se puede tocar en la misma cuerda, pero que una cuerda de uno de los violines esté más afinada que otra", "No hay dos violines iguales, siempre cambiarán"
"Creo que es el tono y el timbre, ya que según el material de la cuerda y su grosor dependen estos dos factores", etc.

A la vista de los resultados, creemos que podemos afirmar que los alumnos desconocen el significado científico del concepto timbre pero que, en algunos casos, puede existir una idea intuitiva que se debe aprovechar en nuestra intervención didáctica.

i) Respecto al ítem 10 (*¿Es verdad que los perros oyen mejor que las personas?. Di todo lo que sepas sobre el asunto*).

- Bastantes (36/43) contestaron a la pregunta, pero de ellos sólo cuatro lo hacen de forma correcta

"Yo creo que no oyen mejor que las personas, lo que pasa es que su oído está más desarrollado que el nuestro y captan una gama de frecuencias mayor que el nuestro que es de 20 Hz a 20.000 Hz"

"Porque en las personas el sentido más desarrollado de la vista, entonces el oído lo tenemos menos desarrollado. Por eso las personas oímos sonidos desde unos valores mínimos hasta unos valores máximos, si están inferior o superior a estos valores no lo oímos. Para los perros esos valores están más ampliados y entonces hay sonidos que nosotros no detectamos y ellos sí"

"Las personas pueden oír a una frecuencia de 12 KHz hasta 16 KHz y los perros escuchan desde los 10 KHz a una frecuencia mucho mayor que las personas", etc.

- Otros siete alumnos responden de forma parcialmente correcta:

"Porque cuando se sopla un pito para perros, las personas no lo oyen porque va a una gran frecuencia, y cuando hay un ruido los primeros en reaccionar son los perros"

"Yo no sé si los perros oyen mejor o peor que nosotros, lo que sí sé es que estos oyen sonidos a diferentes frecuencias que nosotros. Hay sonidos que ellos oyen y nosotros no y otros al contrario"

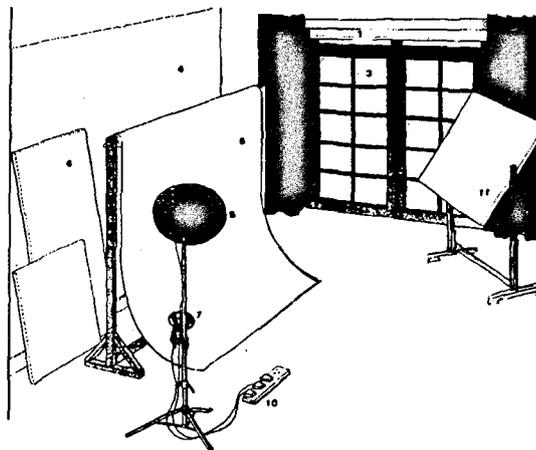
"Es que tienen más facilidad para captar sonidos agudos, que el oído humano no puede distinguir y los perros sí"

"Yo creo que sí, por eso hay perros de caza que son capaces de oír el más pequeño ruido que el hombre no podría hacerlo nunca. Creo que es porque su oído capta muy bien sonidos de muy baja frecuencia al igual que las altas le cuesta, esa es mi opinión", etc.

- Del resto la mayoría que responde (22/36) dan una respuesta superficial, atribuyéndoselo sencillamente a que *"El oído de los perros es más fino"*, *"está más desarrollado"* o a que *"es más sensible que el de los humanos"*; pero no explican por qué ocurre eso, que es lo que realmente se está preguntando. Este tipo de comportamiento que denominamos "responder sin responder" se ha observado muchas veces.

En las respuestas de esta pregunta se aprecia la dificultad para aplicar en una situación real conceptos, que teóricamente han aprendido (por tratarse de alumnos de las ramas de Electricidad y Electrónica) pero que realmente no conocen su significado científico.

j) Respecto al ítem 11 (*En la habitación de la fotografía, ¿crees que hay luz?. Explica detenidamente tu respuesta*).



- Muchos de los que contestaron (30/43) respondieron de manera aceptable, 26 de los cuales dijeron que había luz en toda la habitación y 4 que había luz "prácticamente" en toda la habitación.
- Hubo un número alto de alumnos (11/46) que contestaron que no había luz en toda la habitación, sólo en los puntos en los que estaban situados los focos luminosos (ventana, focos y lámpara).
- Respecto a la explicación que le dieron a la respuesta, habría que decir que sólo lo hacen algunos (16/26), pertenecientes al grupo de los que habían respondido de forma correcta; es decir de los que dijeron que había luz en toda la habitación.

Todo ello parece indicar que a estas edades no todos los alumnos ven la luz como la entiende la ciencia, como una entidad que se propaga en el espacio, sino que un gran número todavía la contempla como lo que se ha dado en llamar luz-fuente. Se detecta además la falta de justificación en muchas de las respuestas, lo que denota una gran inseguridad en sus afirmaciones (incluso en las correctas).

k) Respecto al ítem 12 (*Cuando el Sol está detrás de ti, ¿donde está tu sombra?. Explica detenidamente tu respuesta*).

- Casi todos (43/46) responden eligiendo la opción correcta, que su sombra estará delante de él, aunque sólo 15 justificaron adecuadamente sus afirmaciones, haciendo referencia al cuerpo opaco o realizando un dibujo adecuado para la explicación.
- Otro grupo más numeroso (25/46) utilizó para la justificación un lenguaje más coloquial lleno de ambigüedades o imprecisiones:

"Mi sombra estará delante de mí, porque es como si le tapara la luz al sitio donde se ve la sombra"

"Delante de mí, porque si el sol te da por detrás la luz que no deja pasar tu cuerpo (sombra) se refleja delante"

"Si el sol está detrás de mí la sombra estará en el lugar donde no de el sol, en este caso delante de mí"

"Delante mío, porque la luz al chocar con mi cuerpo no traspasa, y no dejo que la luz toque el suelo y produzca su color"

"Porque como el sol te da por detrás, los rayos que pasan son como si fueran tu sombra"

"Porque la sombra es proyectada, por tanto es proyectada en el lado opuesto a la luz", etc.

Todo ello parece indicar, que muchos no son capaces de sugerir una interpretación coherente sobre la formación de las sombras, debido seguramente al hecho de poseer una concepción de la luz impropio de estas edades. Una de las claves que, quizás, puede explicar las grandes dificultades que nos encontramos a la hora de abordar el aprendizaje de las Ondas y de la Óptica es que el alumno de manera cotidiana vive inmerso en un lenguaje lleno de imprecisiones que condicionan sus ideas. Si unimos a esto que la materia en sí "no colabora demasiado" (abstracción de conceptos y dificultades experimentales), podremos justificar la gran dificultad intrínseca que estos contenidos suelen tener.

l) Respecto al ítem 13 (*Paseando un día de verano soleado, se ve sobre el suelo la sombra de los árboles. Según tú, ¿por qué hay sombra?. Explica detenidamente tu respuesta*).

Esta pregunta, que se puede entender como una profundización de la anterior, obtuvo unas respuestas muy parecidas.

- Casi todos los que respondieron (42/45) eligieron la opción correcta, es decir que existen sombras porque los árboles impiden el paso de la luz, aunque sólo 14 de ellos lo justificaron adecuadamente.
- Otro grupo más numeroso (26/45) de los que contestaron correctamente, no lo justificó o utilizó (de la misma manera que en la pregunta anterior) un lenguaje más coloquial:

"Sí, yo creo que es porque los árboles impiden pasar la luz porque al no pasar la luz la silueta de nuestro cuerpo se queda oscura"

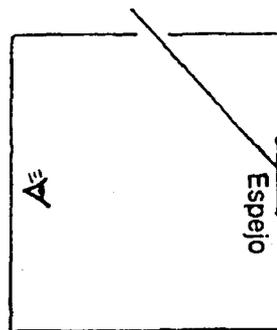
"Porque los árboles impiden el paso de la luz y dan sombra"

"Porque los árboles impiden la luz, porque al chocar los rayos del sol en el cuerpo hay un espacio no ocupado por el sol"

"Porque los árboles impiden el paso de la luz, ya que el árbol está entre el rayo de luz y la tierra", etc.

- Hay que resaltar que dos alumnos creen que se producen sombras, uno porque *"Los árboles se reflejan en la tierra"*, y otro porque *"Los objetos tienen sombras"*.

m) Respecto al ítem 14 (*La habitación de la figura es oscura y las paredes perfectamente negras, está completamente limpia, sin polvo ni humo en el aire. Si miramos en la dirección indicada por el ojo. ¿Podríamos ver la luz que entra por el agujero?. Explica detenidamente tu respuesta.*)



- Las respuestas se pueden clasificar en tres grupos. El primero de ellos y más numeroso (15/44) contesta que el rayo sí se vería, la mayoría de los cuales (9/15) lo justifican diciendo que es porque la habitación se iluminaría

"Porque por el agujero pasa un haz de luz que ilumina la habitación un poco"

"Yo creo que sí, porque al estar todo oscuro un rayo de luz resalta mucho"

"Sí veríamos un rayo de luz, ante la diferencia del color negro de la habitación y el color claro de la luz que penetra por la cerradura y luego se refleja en el espejo", etc.

- El segundo grupo (12/44) cree que no se vería el rayo. La mayoría (10/12) dan una justificación correcta, más o menos completa, basada en que la luz no llega hasta el ojo y que, por eso, no podemos verla:

"No podríamos ver la luz porque se refleja en el suelo a través del espejo"

"Al ojo no le daría directamente la luz, ya que la luz que da en el espejo lleva un ángulo que impide que te de directamente en el ojo", etc.

- Y el último grupo (11/44) responde que no veríamos el rayo entrar, pero que sí veríamos el reflejo o el espejo iluminado (j):

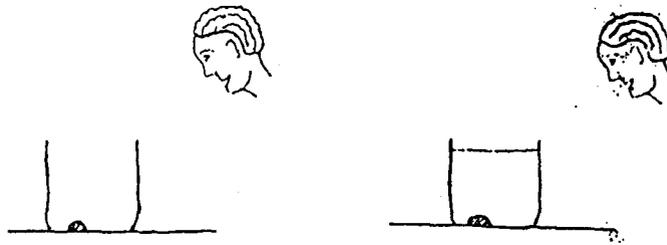
"Sí se ve reflejado en el espejo, pero el rayo de luz no se ve porque ilumina a nada"

"No se vería pasar la luz, la luz sólo se vería reflejada en el espejo. Porque la luz no es visible, solo permite ver las cosas, y cuando se cree que se ven los rayos de luz solo se ven las partículas de polvo iluminadas"

"No veríamos la luz que entra por el agujero, sino que veríamos el reflejo de la luz rebotado en el espejo", etc.

A la vista de las respuestas, podemos afirmar que la mayoría consideran imprescindible que haya luz para que se produzca la visión, pero que sólo sirve para iluminar el objeto o constituye un baño de luz que rodea al objeto y al observador; es decir el ojo "ve" sin que haya nada que le una al objeto, o dicho de otro modo, el mecanismo de la visión sólo precisa que el ambiente esté iluminado.

n) Respecto al ítem 15 (*Juan está mirando dentro de un cubo. Hay un trozo de plastilina en el fondo que Juan no puede ver. Explica por qué no y añade un dibujo a tu explicación si lo deseas. El cubo está ahora lleno de agua, Juan puede ver ahora el trozo de plastilina, aunque él no se ha movido y el cubo ha permanecido en el mismo lugar. Explica por qué Juan puede ver ahora la plastilina que el cubo está lleno de agua y añade un dibujo a tu explicación si lo deseas.*)



- Hubo muchos alumnos (11/46) que no contestaron, por lo que en principio podemos suponer que no la consideraban asequible.

- De las respuestas, unas cuantas (6/35) se pueden considerar aproximadamente correctas:

"Juan la ve porque los rayos luminosos al chocar con el agua es como si cambiaran de sentido y no fueran rectos porque se reflejan en el agua"

"Juan sí ve la plastilina porque el agua hace de espejo y refleja su vista a la plastilina"

"Porque la luz al pasar por el agua cambia su dirección un pequeño ángulo y eso hace que se pueda ver el objeto del fondo", etc.

- Las de un grupo más numeroso (9/35) se pueden considerar parcialmente correctas:

"Ahora sí lo ve porque es como si desplazase la plastilina (su imagen, pero no su cuerpo)"

"Juan ve ahora la plastilina porque la luz se refleja en el agua y cambia de dirección"

"Sí lo ve porque al estar lleno de agua, el trozo de plastilina parece que aumenta su volumen y los rayos de sol que chocan en el agua hacen que el agua fuese como una pantalla de televisión", etc.

- Hay que añadir que el resto de las respuestas son absurdas o completamente erróneas.

Por todo ello y después de analizar las contestaciones, podemos afirmar que nuestros alumnos no disponen de una explicación coherente para el fenómeno de la refracción.

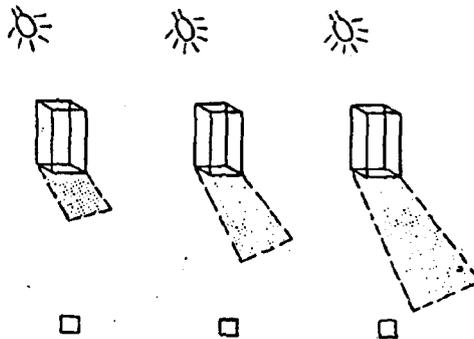
ñ) Respecto al ítem 16 (*Entre los objetos siguientes señala los que den luz: el fuego, una bombilla eléctrica, los ojos, una botella, una vela, el cielo, un lápiz, una ventana, el Sol y un espejo.*)

- La mayoría de los que respondieron (35/45) dan una respuesta correcta, eligiendo todos los objetos que dan luz y dejan sin señalar los que no la dan.

- Existe un número importante de alumnos (10/45) que no consideran como fuente luminosa algo que lo es, como por ejemplo la vela; o, incluso, consideran como fuente luminosa algo que no lo es, como el espejo, el cielo, los ojos o la botella.

Parece deducirse que muchos identifican como fuente luminosa no sólo aquello que produce luz, sino también todo aquello que es brillante, transparente o que es capaz de reflejar gran cantidad de luz. También se aprecia que identifican el foco con una gran potencia luminosa, lo cual parece abundar en la concepción luz-efecto ya que, cuando el foco luminoso no es muy potente (como ocurre en el caso de la vela) se producen el mayor número de errores.

o) Respecto al ítem 17 (El dibujo de la figura representa la sombra de una caja puesta en el suelo cuando está iluminada por una bombilla que alumbrá muy poco. Después se cambia la bombilla por otra que alumbrá mucho. Comparando con el dibujo anterior, escoge entre los tres dibujos el que da el valor correcta a la sombra. Señala con una cruz el dibujo escogido y explica respuesta).



- A pesar de la gran cantidad de alumnos que contestan a la pregunta, las respuestas no son de ninguna manera satisfactorias. Hay 22 que creen que la sombra será del mismo tamaño y 21 que creen que tendrá un tamaño diferente.

- Entre los alumnos que creen que la sombra tendrá el mismo tamaño, podemos distinguir dos grupos: uno pequeño (4/22), en el que los alumnos justificaron adecuadamente su respuesta desde el punto de vista científico; y otro grupo más numeroso (17/22), que no lo justificó, o utilizó un lenguaje impreciso o erróneo:

"Yo creo que es porque el objeto no tiene más sombra porque haya más luz, para que tenga más sombra el objeto debe acercarse más"

"Sería el mismo que con la otra bombilla, pero con más claridad, que se veía en ese reflejo mejor"

"El cubo haría la misma sombra, ya que tapa lo mismo que antes"

"La sombra será igual que antes pues habrá más luz pero sigue sin atravesar la caja", etc.

- Entre los 21 que creen que la sombra tendrá un tamaño diferente, podemos distinguir dos grupos ya que hay 13 que piensan que la sombra será mas pequeña que antes. Cinco de ellos dicen que es porque *"Cuanto mayor es la luz menor es la sombra"*, tres porque *"la luz está más concentrada"*, cuatro no lo justifican y uno lo hace de forma errónea, al confundir la sombra con la luz indirecta.

- Entre los ocho que piensan que la sombra será más grande que antes, seis de ellos dicen que es porque *"cuanto mayor es la luz mayor es la sombra"* (que es el mismo argumento de antes pero al contrario), uno no lo justifica, y otro lo hace de forma errónea, al confundir la sombra con la distancia iluminada.

A la vista del gran número y variedad de respuestas incorrectas e, incluso, contradictorias, parece detectarse la inseguridad que los alumnos tienen a la hora de responder a cuestiones referentes a la propagación de la luz.

p) Respecto al ítem 18 (*Cuando se enciende una bombilla eléctrica en una habitación: La luz ilumina al mismo tiempo toda la habitación, La luz está al principio cerca de la bombilla y sólo después ilumina las paredes. Explica detenidamente tu respuesta*).

- Un gran número (27/45) consideraban a la luz instantánea, mientras que otro grupo de 17 alumnos, considera que la luz está al principio cerca de la bombilla y sólo después ilumina las paredes.

- Del grupo que consideran a la luz instantánea, la mayoría (22/27) justificaron su respuesta, aunque sólo lo hicieron correctamente siete de ellos; del resto, dos dieron una justificación ambigua:

"La luz ilumina al mismo tiempo toda la habitación porque la luz se reparte por todos lados igual"
o *"Desde el principio alumbra todo lo que puede, en unos sitios menos porque están más lejos"*

Trece dieron una justificación errónea:

"Se ilumina todo a la misma vez porque la bombilla al encenderla da la misma luz que al pasar un rato"

"La luz va a la misma velocidad para todos los lados"

"La bombilla ilumina al mismo tiempo toda la habitación, los rayos de luz van hacia todos los lados", etc.

- Del otro grupo, que consideraban que la luz no es instantánea (responden que está al principio cerca de la bombilla y sólo después ilumina las paredes), la mayoría (14/17) justificaron su respuesta. No obstante, sólo siete de ellos lo hicieron de forma correcta, centrándose en que, al ser la velocidad de la luz muy grande, no podemos apreciarla. El resto que la justificaron (7/14) lo hicieron de forma ambigua o confusa:

"La bombilla no ilumina las paredes al mismo tiempo porque primero llegará a las zonas más cercanas"

"Porque la luz se origina primero en la bombilla y luego se reparte"

"Al encender la bombilla, iluminará primero la lámpara y después las paredes"

"La luz al ojo humano, se ilumina la habitación al mismo tiempo, pero realmente hay diferencias de millonésimas de segundo", etc.

A la vista de las respuestas, parece que hay un gran número de alumnos que consideran infinita la velocidad de la luz y que, por tanto, tiene una propagación instantánea. Se observa, además que la mayoría no son capaces de justificar adecuadamente su respuesta, lo que podría indicar la falta de esquemas conceptuales apropiados para explicar la propagación de la luz. Todo ello está relacionado con el error de identificar la luz con alguno de sus efectos, por ejemplo con la claridad; de tal manera que como la claridad se aprecia simultáneamente en toda la habitación, según ellos, eso quiere decir que la luz llegó a toda la habitación a la vez.

q) Respecto al ítem 19 (*Se está en una habitación umbría y se observa una hoja de papel iluminada por una lámpara de bolsillo. ¿Hay luz: sobre la hoja?, entre la hoja de papel y la lámpara?, alrededor de la bombilla?*).

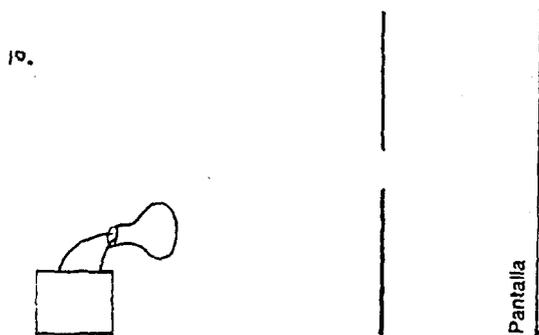
- Muchos de los que respondieron (28/45) eligieron la opción correcta, es decir que existía luz en todos sitios: sobre la hoja, entre la hoja de papel y la lámpara y alrededor de la bombilla.

- Unos cuantos (7/45) contestaron que había luz en dos de las situaciones, pero que no sabía si la había en la otra.

- Otro grupo (5/45) respondieron que existía luz sobre la hoja, entre la hoja de papel y la lámpara, pero no alrededor de la bombilla.

Muchos de los alumnos parecen no tener muy presente la propagación de la luz, por lo que no tienen inconveniente en afirmar, por ejemplo que hay luz en dos puntos pero no entre ellos; esto parece indicar que no todos la entienden como una entidad que se propaga en el espacio.

r) Respecto al ítem 20 (*¿Qué zona de la pantalla estará iluminada?*).



- Aunque la mayoría contesta a la pregunta, las respuestas no son de ninguna manera satisfactorias, ya que sólo 3 realizaron un dibujo correcto y de ellos sólo uno lo justificó adecuadamente: *"Sólo pasaría a esta zona, porque la luz enfocada al hueco es la que pasa, las otras o rebotan o se pierden"*.

- Un grupo numeroso (13/41) consideraron el foco luminoso como si fuera puntual. De estos lo justificaban diez, seis de forma parcial:

"Porque en línea recta de la bombilla o la lámpara, el hueco que deja la pared a la pantalla es ese"

"Solo de veré la luz por donde no tape la pared, ya que hace sombra y se refleja en la dirección que se emite"

"Está iluminada esta zona porque la luz se desplaza en línea recta", etc

Y otros cuatro alumnos lo justificaron de forma confusa:

"Es igual que en el agua, la luz sólo iluminará la longitud del agujero"

"Sólo pasaría luz por ese sitio que está desprovisto de esa protección, al reflejarse el resto de la proyección en la pared esa", etc.

- Otro grupo (11/14) dejaba entrever en sus respuestas que confundían la trayectoria rectilínea de la luz con la trayectoria horizontal, de tal manera que la zona iluminada estaba más baja de lo que realmente le correspondía. De ellos justificaron su respuesta cuatro alumnos, unos de forma ambigua:

"La zona del centro estará mas iluminada al pasar la luz más directamente, pero la zona de alrededor a medida que nos alejemos del centro estará menos iluminada, la luz también se reparte por las orillas y alrededor del centro de la pantalla"

Y otros de forma errónea:

"Estaría iluminada esta superficie porque la luz que pasa por el agujero se extiende".

- Otro grupo de seis responden que se iluminaría toda la pantalla, justificándolo en función de los reflejos que se producirían:

"Se ilumina toda la pantalla, pero una parte más que otra porque la luz se propaga en todas direcciones"

"Se ilumina toda, porque entra la luz por el agujero y se ilumina una parte más que el resto,

debido a que le llegan los rayos directamente pero esos rayos rebotan en la pared y también iluminan el resto de la pantalla", etc.

Conclusiones de la descripción de estos resultados

Las conclusiones generales que podemos establecer de este análisis son las siguientes:

- a) En general, podemos afirmar que no conocen lo que es un movimiento ondulatorio. Las razones de ello se deben probablemente a que se trata de un concepto incluido en un área de conocimiento que no suele ser impartida en la Enseñanza Primaria y a la propia dificultad del mismo.
- b) Hemos observado que en muchas ocasiones aparece un gran número de respuestas erróneas o que no están justificadas adecuadamente. Consideramos que las causas han de estar relacionadas con la carencia de una estructura consistente e, incluso, de la lógica falta de terminología.
- c) A pesar de ser alumnos de Electricidad y Electrónica de Formación Profesional y utilizar habitualmente magnitudes físicas como la frecuencia y la longitud de onda, tan importantes en sus estudios, realmente no conocen su significado científico. A su vez, podemos afirmar que lo mismo ocurre con el concepto de timbre.
- d) La mayoría de los estudiantes utiliza un modelo corpuscular para las ondas; defendiendo por ejemplo, que la velocidad del sonido en el agua es menor que en el vacío, bien sea por la resistencia o por la densidad, la dificultad de propagación del sonido es mayor.
- e) El concepto de reflexión del sonido parece, a pesar de lo dicho anteriormente, que es el que más se acerca a la concepción científica, detectándose sólo imprecisiones semánticas.
- f) Llegamos también a que los alumnos de nuestra muestra no disponen de un cuerpo de conocimientos suficiente para abordar cuestiones que relacionan conceptos físicos característicos de los movimientos ondulatorios con la vida cotidiana, especialmente si aquellos son complejos.
- g) Una de las claves que, quizás, puede explicar las grandes dificultades que nos encontramos a la hora de abordar el aprendizaje de la Óptica en particular, es que el alumno de manera cotidiana vive inmerso en un lenguaje lleno de imprecisiones que condicionan sus ideas, agravado por la gran dificultad intrínseca que estos contenidos suelen tener.
- h) A estas edades no todos los alumnos ven la luz como la entiende la ciencia, como una entidad que se propaga en el espacio, sino que un gran número todavía la contempla como lo que se ha dado en llamar luz-fuente. Lo que provoca que no todos los alumnos son capaces de sugerir una interpretación coherente sobre la formación de las sombras.
- i) Parece deducirse que muchos identifican como fuente luminosa no sólo aquello que produce luz, sino también todo aquello que es brillante, transparente o que es capaz de reflejar gran cantidad de luz. También se aprecia que identifican el foco con una gran potencia luminosa, lo cual parece abundar en la concepción luz-efecto.
- j) Se detecta la inseguridad que tienen a la hora de responder a cuestiones referentes a la propagación de la luz e, incluso, muchos parecen no tenerla presente. Existiendo un gran número de alumnos que consideran infinita la velocidad de la luz y que, por tanto, tiene una propagación instantánea; relacionado con el error de identificar la luz con alguno de sus efectos.
- k) Podemos afirmar que nuestros alumnos no disponen de una explicación coherente para el fenómeno de la refracción. Asimismo la mayoría consideran imprescindible que haya luz para que se produzca la visión, pero que sólo sirve para iluminar el objeto o constituye un baño de luz que rodea al objeto y al observador; es decir el ojo "ve" sin que haya nada que le una al objeto, o dicho de otro modo, el mecanismo de la visión sólo precisa que el ambiente esté iluminado.

C.3.2.2 Descripción de los resultados por esquemas de la prueba inicial de contenidos conceptuales

Además de hacer una descripción detallada de las respuestas que los alumnos dieron a las preguntas de la prueba inicial, nos parece necesario establecer y describir cuáles son los esquemas o estructuras de razonamiento que subyacen en sus contestaciones.

Para ello hemos estudiado globalmente las respuestas a diferentes ítems de la prueba inicial tal como señalamos en el apartado 2.4.1.1 con el fin de tratar de identificarlos. Como el proceso de elaboración fue descrito anteriormente y algunos ejemplos aparecen en el Anexo 4, nos centraremos en la especificación de los resultados obtenidos.

Esquemas de las magnitudes ondulatorias

Como ya dijimos en el Capítulo 2, los esquemas de las magnitudes ondulatorias de la prueba inicial se extraen prioritariamente de las respuestas a determinadas preguntas, que en este caso son las recogidas en el Cuadro 3.1.

Item	Enunciado
1	- Pon cinco ejemplos de movimientos ondulatorios (ondas).
3	- Cuando escuchas la radio, seguro que has oído hablar de frecuencia y de longitud de onda. ¿Qué significan para ti esos términos?.
6	- ¿De qué factores depende la intensidad de un sonido?: a) de la temperatura, b) de la densidad del medio, c) de las características de la onda, d) de la masa del cuerpo que vibra.

Cuadro 3.1

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 3.1.; los esquemas a los que se hace referencia se representan en la Figura 3.1 (página siguiente).

Esquema	0	1	1a	1b	2	3	3a	4	4a	4b	6
Frecuencia	15	9	5	4	5	2	2	2	3	3	1
Porcentaje	29.42	17.65	9.80	7.84	9.80	3.92	3.92	3.92	5.88	5.88	1.96

Tabla 3.1

Se puede observar que hay un gran número de alumnos que no responden, o que de sus respuestas no es posible establecer un modelo (15/51), fundamentalmente por la dificultad de extraer de ellas alguna conclusión. También habría que resaltar que un número importante de ellos (18/51) utiliza los esquemas *MO-1*, *MO-1a* y *MO-1b* que son los más intuitivos o anecdóticos de los descritos. Por otro lado, habría que destacar que el esquema más avanzado, que es el *MO-6*, sólo es utilizado por un alumno; en éste, es posible apreciar la existencia de un verdadero modelo, aunque incompleto o con deficiencias, sobre todo por las relaciones establecidas entre los conceptos implicados.

En los primeros modelos, que hemos denominado *MO-1*, *MO-1a* y *MO-1b* se aprecia que realmente no hay una concepción global, ya que en ellos simplemente se limitan a relacionar un movimiento ondulatorio con una de sus características y siempre de manera incorrecta; no obstante, reconocen explícitamente diferentes tipos de ondas. Así, vemos que en el *MO-1* (que es utilizado por nueve alumnos) sólo hablan de la frecuencia identificándola como

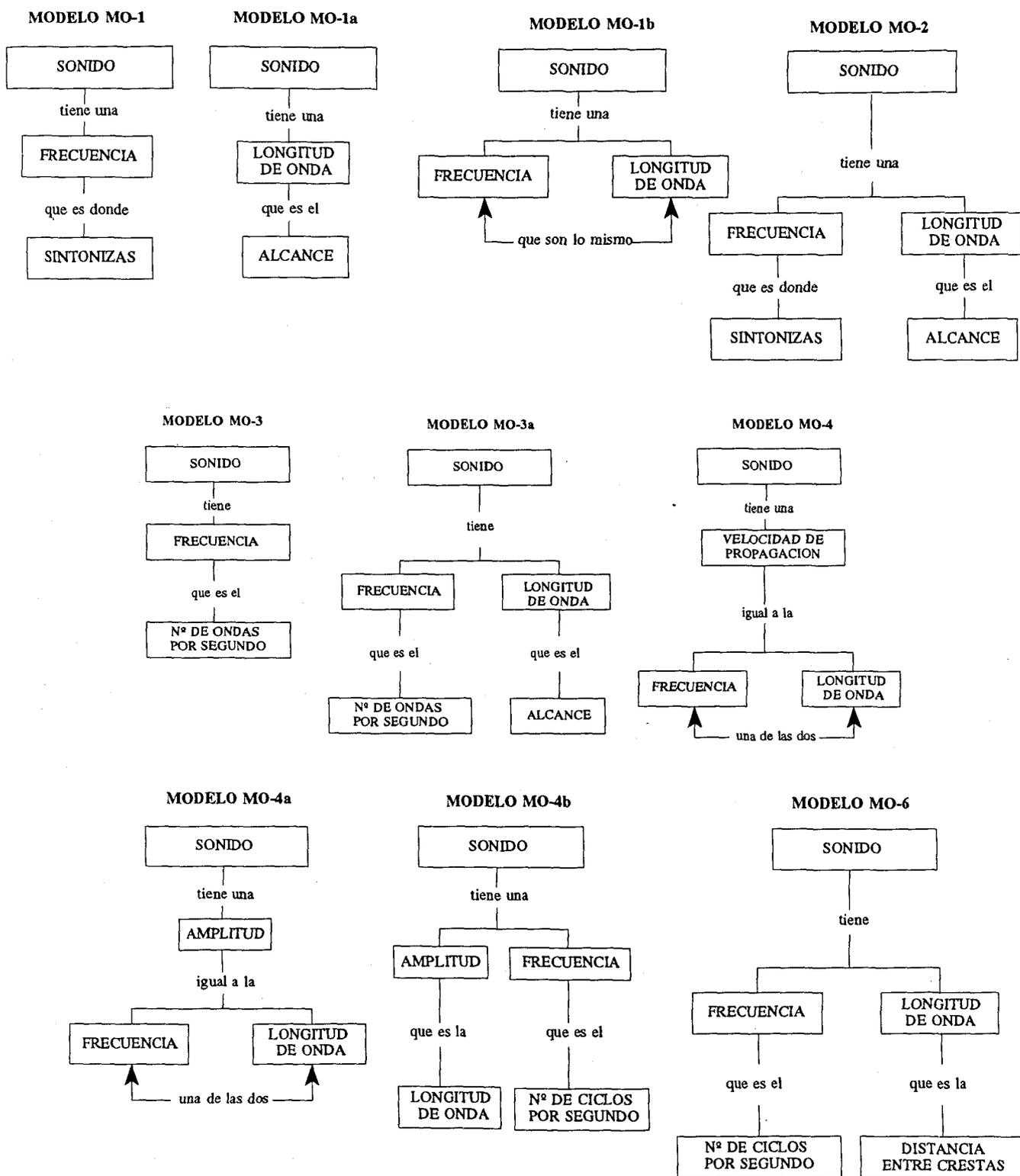


FIGURA 3.1

el sitio donde se puede sintonizar dicha onda; en el *MO-1a* (utilizado por cinco alumnos) sólo mencionan la longitud de onda confundiendo con el alcance de la onda; y en el *MO-1b* (utilizado por cuatro alumnos), además de no encontrar ninguna diferencia conceptual entre frecuencia y longitud de onda, no son capaces de establecer ninguna definición correcta de ellas.

En el modelo *MO-2* (utilizado por cinco alumnos) aparecen definidas tanto la frecuencia como la longitud de onda, pero, al igual que ocurría en los modelos anteriores, las identifican con la sintonía y con el alcance. No obstante en este caso, sí se da una cierta diferenciación al estar definidas de distinta manera. Las referencias a la amplitud siguen siendo confusas.

En los modelos *MO-3* y *MO-3a* (utilizados cada uno por dos alumnos) se aprecia igualmente que son capaces de especificar diferentes tipos de ondas y, además, tienen una concepción próxima a la científica del sentido físico de la frecuencia. No obstante, en el *MO-3* desconocen otras magnitudes igualmente representativas de las ondas como la longitud de onda, la velocidad de propagación o la amplitud. En los casos correspondientes al *MO-3a*, además de identificar la frecuencia con el número de ondas por segundo o con algunas de sus unidades, persiste la idea de que la longitud de onda es el alcance, concepción que resulta bastante generalizada en muchas interpretaciones, como hemos visto. También hay que resaltar que continúan las confusiones con respecto a la amplitud.

Las características comunes a los modelos *MO-4*, *MO-4a* y *MO-4b* (utilizados por dos, tres y tres alumnos respectivamente) es la presencia explícita de otras magnitudes propias de las ondas (no sólo la frecuencia o la longitud de onda). En todos los casos parece que hay un conocimiento, por lo menos intuitivo, de lo que son las ondas; no obstante, persiste el problema de las concepciones equivocadas o de relaciones erróneas desde una perspectiva científica. Así, observamos confusiones entre frecuencia y velocidad de propagación, como ocurre en el *MO-4*, o entre la amplitud y la frecuencia o la longitud de onda, como ocurre en el *MO-4a*. En este contexto, hay quienes reconocen qué es la frecuencia, pero persisten en las confusiones entre la amplitud y la longitud de onda, como ocurre con *MO-4b*.

En el modelo *MO-6* (utilizado por un alumno) hemos incluido aquellas respuestas que, además de reconocer ejemplos de ondas, son capaces de definir correctamente la longitud de onda y la frecuencia. Posiblemente exista una concepción bastante acertada de las otras magnitudes, pero no las utilizan en sus razonamientos ante las preguntas planteadas.

A la vista de los esquemas sobre magnitudes ondulatorias, podemos decir:

- consideraban las ondas siempre como transversales, se centraban casi exclusivamente en el sonido y no poseían realmente una visión global e integrada de lo que es una onda
- en la mayoría de los casos se limitaban a establecer una o dos de sus características y, además, de forma incorrecta.
- se aprecia también la proliferación de errores conceptuales, como es el caso de la confusión existente entre periodo y frecuencia, entre longitud de onda y frecuencia, o entre longitud de onda y amplitud; en muchas ocasiones, identifican la longitud de onda con el alcance, o la frecuencia con la sintonía de la radio
- también es frecuente la relación incorrecta entre variables como es el caso de la velocidad de propagación y amplitud.

Esquemas de la propagación del sonido

En esta ocasión, los esquemas de la propagación del sonido de la prueba inicial se extrajeron prioritariamente de las respuestas a las preguntas que aparecen en el Cuadro 3.2.

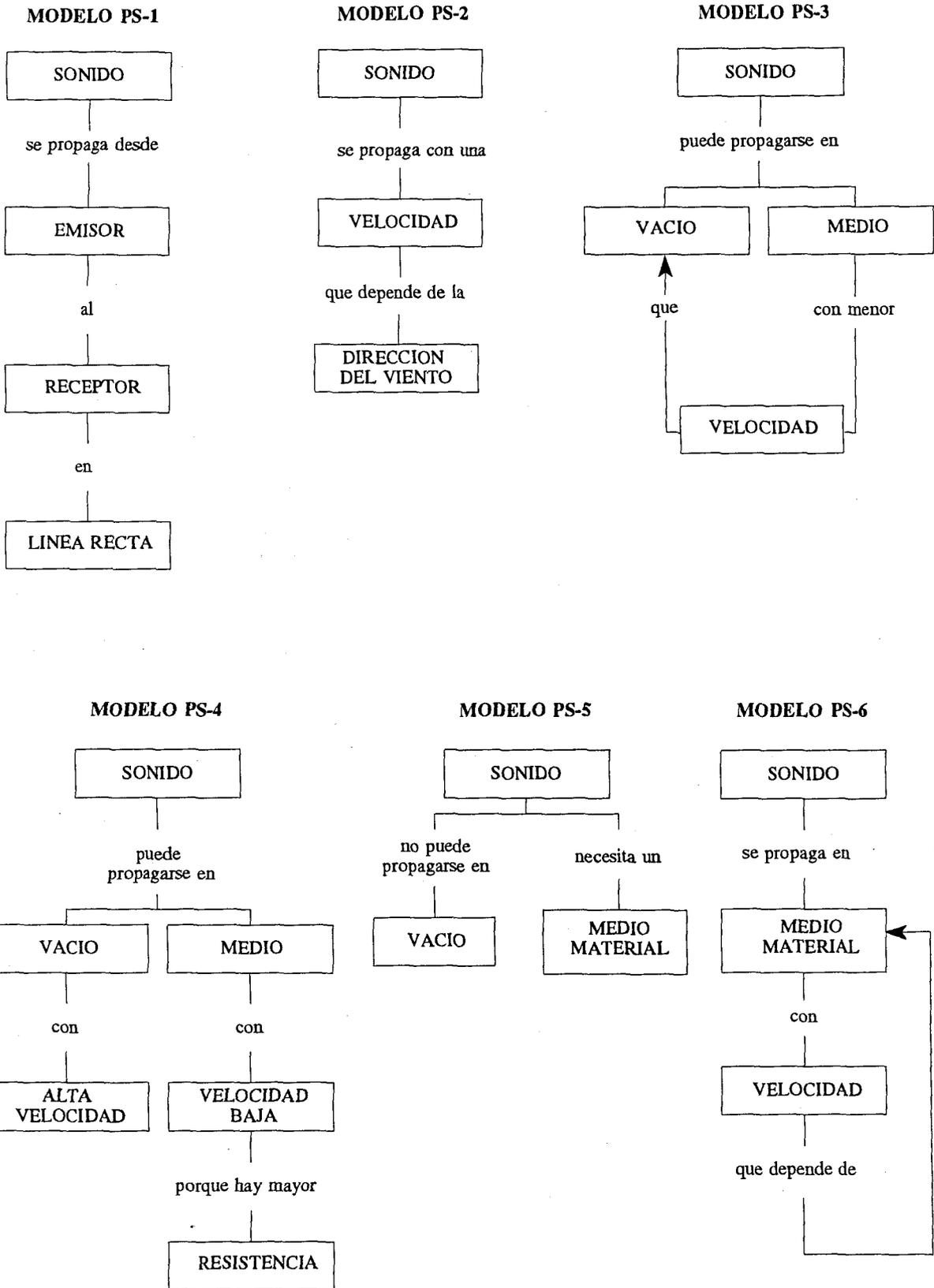


FIGURA 3.2

Item	Enunciado
4	- ¿Cuál es la velocidad del sonido en el vacío?. ¿Crees que es superior a la velocidad del sonido en el agua?. ¿Por qué?.
2p	- Se sabe que es posible escuchar lo que dice una persona a 1 Km de distancia si el viento está a favor (sobre todo si estamos en invierno). Elabora una hipótesis para explicarlo.
5	- Cuando un avión "rompe la barrera del sonido" se produce un gran estruendo, rompiéndose los cristales de algunas ventanas. ¿Podrías dar una explicación a este hecho?.
6	- ¿De qué factores depende la intensidad de un sonido?: a) temperatura, b) densidad del medio, c) características de la onda, d) masa del cuerpo que vibra.

Cuadro 3.2

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 3.2.; los esquemas a los que se hace referencia se representan en la Figura 3.2 (página anterior).

Esquema	0	1	2	3	4	5	6
Frecuencia	11	1	8	2	21	7	1
Porcentaje	21.57	1.96	15.69	3.92	41.18	13.73	1.96

Tabla 3.2

Se puede observar que también en este caso hay un gran número de alumnos (11/51) que no responden o que de sus respuestas no es posible establecer un modelo. Habría que resaltar que veintiuno de ellos (prácticamente la mitad) utilizan el PS-4 y que nueve utilizan los esquemas más intuitivos o anecdóticos de los descritos. Por otro lado, habría que resaltar que el esquema más avanzado, que es el PS-6, sólo es utilizado por un alumno.

En el primer modelo (utilizado por un alumno) y que hemos denominado PS-1 hemos incluido las respuestas que se basan en la utilización de conocimientos cinemáticos bastante distorsionados por consideraciones especulativas sin fundamento científico. No responden cuando se insiste en el medio de propagación (vacío o agua) y lógicamente no se plantean la necesidad de un soporte material para la propagación. Parece que utilizan como clave de sus creencias la idea de que el sonido se propaga del emisor al receptor pero nada más.

En el PS-2 (utilizado por ocho alumnos) aparecen las respuestas que tienen presentes algunos conocimientos cinemáticos adquiridos en otras partes de la Física, pero no consideran los elementos singulares del sonido. Tampoco responden, o lo hacen de forma confusa, cuando se les plantea sobre la influencia del medio en la propagación.

En el PS-3 (utilizado por dos alumnos) se incluyen las contestaciones que hacen alusión al medio como variable de la que depende la velocidad de propagación del sonido, aunque sea de forma ambigua. No obstante, lo hacen de forma equivocada, puesto que persiste la concepción de que, en cualquier medio, la velocidad de propagación es menor que en el vacío.

Las respuestas incluidas en el PS-4 (utilizado por veintiún alumnos) tienen elementos comunes con el anterior. Siguen considerando que la velocidad de propagación del sonido depende del medio y que en el vacío es mayor que en otros medios; además, incluye una explicación a dicha afirmación en términos de mayor o menor resistencia al desplazamiento.

En el PS-5 (utilizado por siete alumnos) las respuestas consideran la necesidad de un medio material para hacer posible la propagación del sonido; es decir ponen de manifiesto explícitamente que no hay propagación en el vacío. No obstante no incluyen otras consideraciones acerca de la velocidad.

Las respuestas incluidas en el PS-6 (utilizado sólo por un alumno) indican explícitamente que no es posible la propagación del sonido sin un medio material y que la velocidad de la propagación depende de dicho medio material, aunque no son capaces de determinarla numérica y cualitativamente. De hecho, no pueden diseñar una experiencia para demostrar que es constante pero prácticamente todos son conscientes de ello.

A la vista de los esquemas referidos a la propagación del sonido, podemos decir que los alumnos de la investigación:

- no consideran que sea necesaria la existencia de un medio para que se propague el sonido, así como que la velocidad de propagación del sonido depende de que el medio le oponga mayor o menor dificultad a su avance, lo que probablemente esconde una concepción corpuscular del mismo.
- consideran la existencia de una dirección privilegiada en la propagación del sonido, que suele ser la del emisor al receptor.
- se detecta también, a pesar de que los modelos en este caso son más completos que en el precedente, un número muy bajo de relaciones cruzadas entre conceptos, lo que parece indicar la poca consistencia de los esquemas.

Esquemas de la reflexión del sonido

En esta ocasión, los esquemas de la reflexión del sonido de la prueba inicial se extrajeron prioritariamente de las respuestas a la preguntas que aparecen en el Cuadro 3.3.

Item	Enunciado
8	- Seguro que alguna vez has estado en algún sitio en que hubiera eco. ¿Pero podrías decir que es el eco?: a) una propiedad de las montañas, b) una cualidad propia del sonido, c) un fenómeno de reflexión del sonido, d) un fenómeno de amortiguación del sonido. Explica tu respuesta.
2	- En un movimiento ondulatorio (onda) ¿hay transporte de: a) materia?, b) energía?, c) ambas cosas?, d) ninguna de ellas?. Explica tu respuesta.
5	- Cuando un avión "rompe la barrera del sonido" se produce un gran estruendo, rompiéndose incluso los cristales de algunas ventanas. ¿Podrías dar una explicación a este hecho?.

Cuadro 3.3

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 3.3.; los esquemas a los que se hace referencia se representan en la Figura 3.3 (página siguiente).

Esquema	0	1	2	2a	3	4	5
Frecuencia	16	12	7	1	4	4	7
Porcentaje	31.38	25.23	13.73	1.96	7.84	7.84	13.73

Tabla 3.3

Hubo, como en otros casos, alumnos (16/51) con los que no fue posible establecer un modelo. Habría que destacar que los más utilizados han sido RS-1 y RS-2; como elemento positivo señalaríamos el uso del RS-5.

En el primer modelo, que hemos denominado RS-1 (utilizado por doce alumnos), se incluyen aquellas respuestas en las que se considera que el eco o la reverberación son fenómenos de amortiguación del sonido, producidos al chocar contra una superficie.

Los RS-2 y RS-2a (utilizados por siete y un alumno respectivamente) tienen en común que no consideran que el eco o la reverberación sean fenómenos de amortiguación del sonido, sino de reflexión. En sus justificaciones

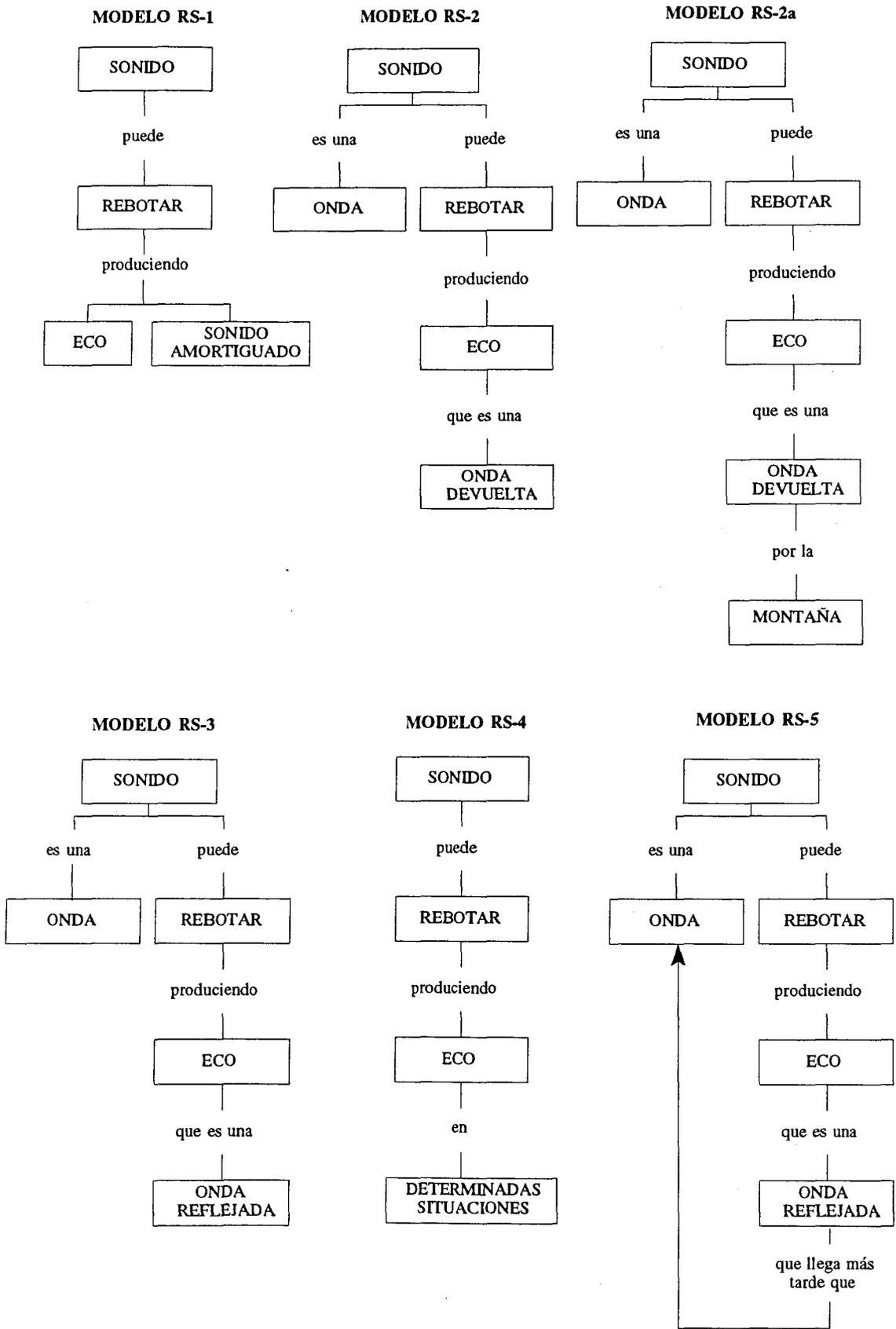


FIGURA 3.3

utilizan términos de cierta cotidianidad y no demasiado científicos; así, por ejemplo, en el RS-2 se habla de "onda devuelta" y en el RS-2a, dentro de un contexto de lenguaje cotidiano, se deja entrever una dependencia no sólo respecto a la emisión sino también respecto a la superficie de reflexión (la montaña).

En el RS-3 (utilizado por cuatro alumnos) se incluyen las respuestas en las que explícitamente se reconoce al eco y a la reverberación como fenómenos de reflexión del sonido y se da una justificación más cercana a la concepción científica del fenómeno. No obstante, no se hace alusión a que el fenómeno no se produzca en determinadas situaciones; parece como si siempre se produjera eco.

Se aprecian en las respuestas del RS-4 (utilizado por cuatro alumnos) no sólo el reconocimiento del fenómeno sino que se explicita que se produce en determinadas circunstancias. La alusión a la superficie de reflexión se realiza sin ambigüedades, aunque no se especifiquen las condiciones ni se hable de otros aspectos de singular importancia para la conceptualización de este término.

En el RS-5 (utilizado por siete alumnos) es posible apreciar el reconocimiento de la existencia de una onda reflejada que llega al receptor con desfase respecto a la emitida; es decir, son casos particulares de una propiedad del sonido: la reflexión. Lógicamente no se hace ninguna alusión a las leyes de la reflexión pero, desde luego, la idea es más elaborada que las anteriores.

A la vista de los resultados referidos a los esquemas sobre la reflexión del sonido:

- es posible apreciar que la mayoría de los modelos son bastante piramidales y con pocas relaciones cruzadas, lo que parece indicar una concepción bastante elemental de este fenómeno.
- son fundamentalmente descriptivos y, en la mayoría de los casos, se limitan a comentar características o propiedades, pero con muy pocas justificaciones de lo que afirman.
- en todos y cada uno de los modelos, desde los más sencillos a los más complicados, aparece el eco, lo que parece sugerir la gran importancia que le dan a este fenómeno, posiblemente por ser lo más observable para ellos. No obstante, la concepción que tienen del mismo es bastante errónea; para muchos es una característica del sonido o una propiedad de las montañas; y otros identifican la reverberación con el eco, constituyendo lo que hemos denominado "eco doméstico".
- también se aprecia, en los esquemas de los alumnos de la investigación, que la reflexión del sonido parece producirse de forma anárquica y sin ninguna ley que la regule.

Esquemas de la naturaleza de la luz

Aquí, los esquemas de la naturaleza de la luz de la prueba inicial se extrajeron prioritariamente de las respuestas a las preguntas que aparecen en el Cuadro 3.4.

Item	Enunciado
11	- En la habitación de la fotografía (ver Apéndice IV.1), ¿crees que hay luz?. Explica detenidamente tu respuesta.
18	- Cuando se enciende una bombilla eléctrica en una habitación: a) La luz ilumina al mismo tiempo toda la habitación, La luz está al principio cerca de la bombilla y sólo después ilumina las paredes. Explica detenidamente tu respuesta.
16	- Entre los objetos siguientes señala los que den luz: el fuego, una ventana, los ojos, una botella, una vela, el cielo, un lápiz, el Sol, una bombilla eléctrica, un espejo.
19	- Se está en una habitación umbría y se observa una hoja de papel iluminada por una lámpara de bolsillo. ¿Hay luz: a) sobre la hoja?, b) entre la hoja de papel y la lámpara?, c) alrededor de la bombilla?.

Cuadro 3.4

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 3.4.; los esquemas a los que se hace referencia se representan en la Figura 3.4 (página siguiente).

Esquema	0	1	1a	2	2a	3	3a	4	5
Frecuencia	6	1	3	4	1	9	7	9	11
Porcentaje	11.76	1.96	5.88	7.84	1.96	17.65	13.73	17.65	21.57

Tabla 3.4

En el caso de seis alumnos, no fue posible establecer un modelo a partir de las respuestas de la prueba, por las razones aducidas anteriormente. Por contra, también se puede apreciar que un número elevado de alumnos (11/51) utilizaron el modelo *NS-5* que se puede considerar el más completo de todos ellos en esta exploración inicial.

Los primeros modelos, que hemos denominado *NL-1* y *NL-1a* (utilizados por uno y tres alumnos respectivamente), tienen como principales características la gran limitación de las respuestas al confundir fuentes luminosas con objetos iluminados, o al considerar que sólo hay luz en los objetos iluminados; es decir, hay una gran confusión entre luz y efecto que condiciona otras respuestas. En el caso del *NL-1a* se le atribuye, además, una propagación instantánea, mientras que en el *NL-1* se considera que su velocidad depende de la fuente luminosa.

En los *NL-2* y *NL-2a* (utilizados por cuatro y un alumno respectivamente) incluimos las respuestas de aquellos que son capaces de identificar los focos luminosos y diferenciarlos de los objetos iluminados; no obstante, arrastran confusiones con estos últimos, al poner en juego las concepciones que tienen sobre los objetos claros. En el *NL-2*, además, tampoco tienen claro si existe o no luz entre el foco y el objeto iluminado, o sobre la velocidad de propagación de la luz. En cambio en el *NL-2a* los razonamientos respecto a la existencia o no de la luz se encuentran mediatizados por su identificación con el foco luminoso.

En los *NL-3* y *NL-3a* (utilizados por nueve y siete alumnos respectivamente) recogemos las respuestas que distinguen entre foco luminoso y objeto iluminado, asumiendo que hay luz entre ambos. Sin embargo, se aprecia en estos modelos que no son capaces de explicitar que ésta se propaga en todas direcciones, percibiéndose la idea de una dirección privilegiada de propagación. En el caso del *NL-3* se sigue manifestando la propagación de la luz como instantánea, mientras que en el del *NL-3a* se manifiesta el carácter finito de la velocidad.

En el *NL-4* (que fue utilizado por nueve alumnos) incluimos las respuestas que diferencian los focos luminosos de los objetos iluminados, que son capaces de saber dónde hay luz y aluden a que su propagación se realiza en todas direcciones, aunque todavía consideran de forma errónea que ésta es instantánea.

El último, que hemos llamado *NL-5* (utilizado por 11 alumnos) es asimismo muy similar en su estructura al modelo anterior. En este caso no es posible hacerle ningún reproche desde el punto de vista científico, ya que todos los conceptos implicados son relevantes y todas las justificaciones y relaciones correctas; no obstante, no tiene la amplitud necesaria para ser considerado completo.

Ante los resultados obtenidos en los esquemas sobre la naturaleza de la luz, podemos decir:

- hay muchos alumnos que identifican la luz con la fuente luminosa, sobre todo en los casos en que ésta es intensa, o con sus efectos, como puede ser el caso de la claridad.

- respecto a la velocidad de la luz, hay que destacar que, en algunos casos, consideran que depende de la velocidad de la fuente luminosa, lo que parece indicar una concepción corpuscular de la misma; en numerosas ocasiones la consideran infinita, lo que supone que atribuyen a la luz la cualidad de no recorrer el espacio y, por tanto, de ser instantánea. Esto suele estar relacionado con el modelo de visión denominado "baño de luz", que afirma que basta la presencia de la luz para ver.

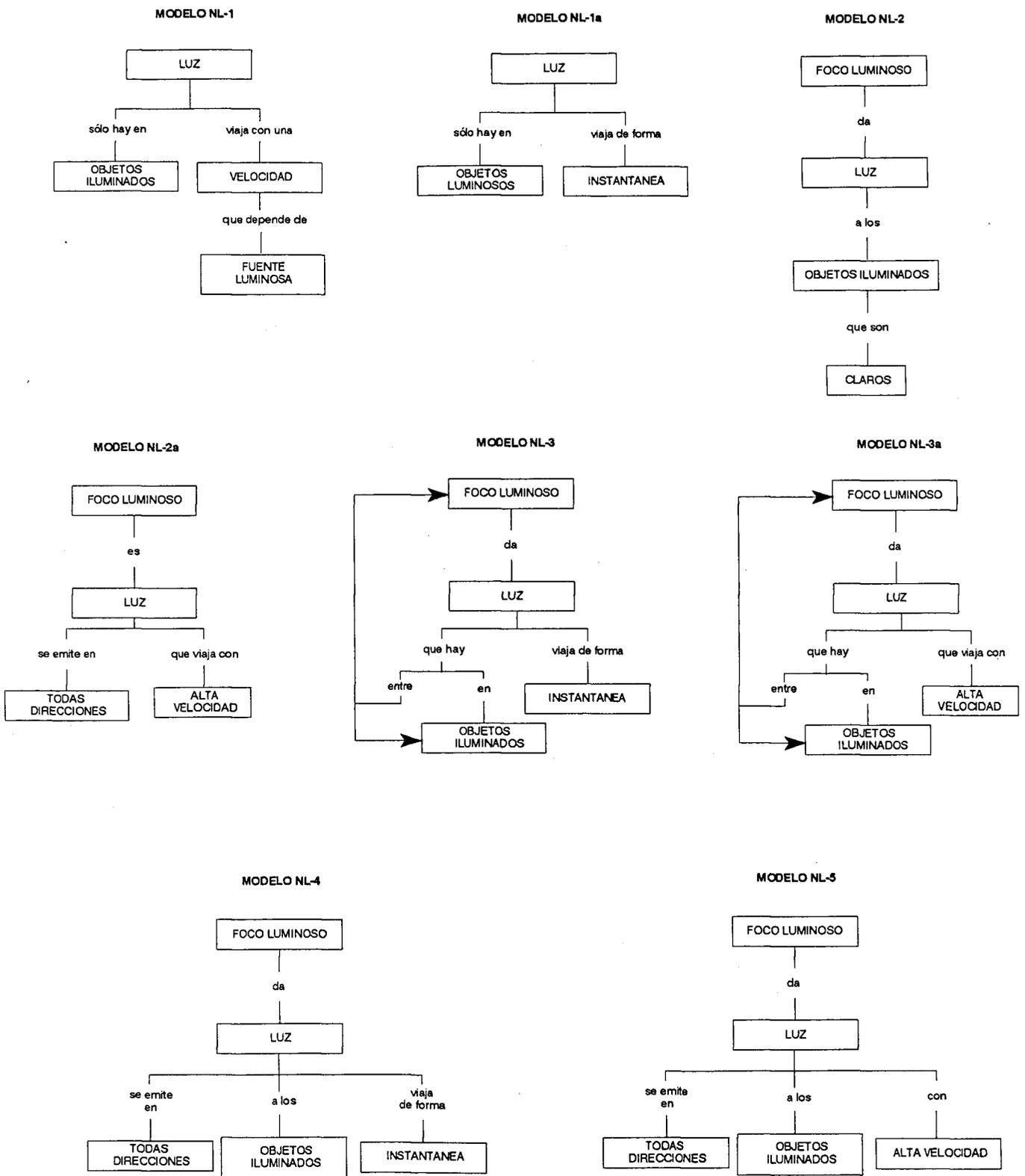


FIGURA 3.4

- la mayoría no se comprometen a afirmar en su modelo cuál es la naturaleza de la luz, aunque hay un número apreciable de alumnos que afirman que un conjunto de partículas que se mueven en línea recta hacia el objeto iluminado.

- consideran en muchas ocasiones que sólo hay sobre los objetos iluminados o sobre los cuerpos blancos, confundiendo un efecto de la luz, como puede ser la claridad, con el color.

Esquemas de la propagación de la luz

Las preguntas de cuyas respuestas se obtuvieron en esta ocasión los esquemas fueron las que aparecen en el Cuadro 3.5.

Item	Enunciado
18	- Cuando se enciende una bombilla eléctrica en una habitación: a) La luz ilumina al mismo tiempo toda la habitación, b) La luz está al principio cerca de la bombilla y sólo después ilumina las paredes. Explica detenidamente tu respuesta.
19	- Se está en una habitación umbría y se observa una hoja de papel iluminada por una lámpara de bolsillo. ¿Hay luz: a) sobre la hoja?, b) entre la hoja de papel y la lámpara? c) alrededor de la bombilla?.
20	- ¿Qué zona de la pantalla estará iluminada? (ver Apéndice IV.1)

Cuadro 3.5

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 3.5 ; los esquemas a los que se hace referencia se representan en la Figura 3.5 (página siguiente).

Esquema	0	1	1a	2	3	4	4a	5	6	6a
Frecuencia	13	10	1	1	4	5	1	3	11	2
Porcentaje	25.49	19.61	1.96	1.96	7.84	9.80	1.96	5.88	21.57	3.92

Tabla 3.5

Hubo trece alumnos con los que no fue posible establecer un modelo interpretativo. También hay que destacar que los modelos más utilizados fueron el *PL-1* y el *PL-6*, este último uno de los más elaborados. En cambio sólo dos hicieron uso del modelo más completo, es decir el *PL-6a*.

Las características comunes a las respuestas que hemos incluido en estos dos primeros modelos, que hemos denominado *PL-1* y *PL-1a* (utilizados por diez y un alumno respectivamente), son las limitaciones de las mismas, al considerar que la luz se expande al atravesar un agujero. Esta generalización del fenómeno de la difracción tiene sus antecedentes, en el caso del modelo *PL-1*, en la creencia correcta de que la luz se propaga en todas direcciones; mientras que para el modelo *PL-1a* el condicionamiento le viene dado por la concepción correcta de la luz como onda, aunque no sepan aplicarlo a los casos que nos ocupan.

En el siguiente, que hemos llamado *PL-2* (utilizado sólo por un alumno), siguen existiendo concepciones que condicionan sus respuestas. Se pone de manifiesto explícitamente la propagación rectilínea de la luz, aunque se observa la creencia de que un foco luminoso emite un rayo de luz en una dirección de propagación privilegiada.

Hemos incluido en el *PL-3* (utilizado por cuatro alumnos) aquellas respuestas en las que se manifiesta la propagación rectilínea de la luz pero también consideran que, al llegar la luz al agujero se produce un fenómeno de

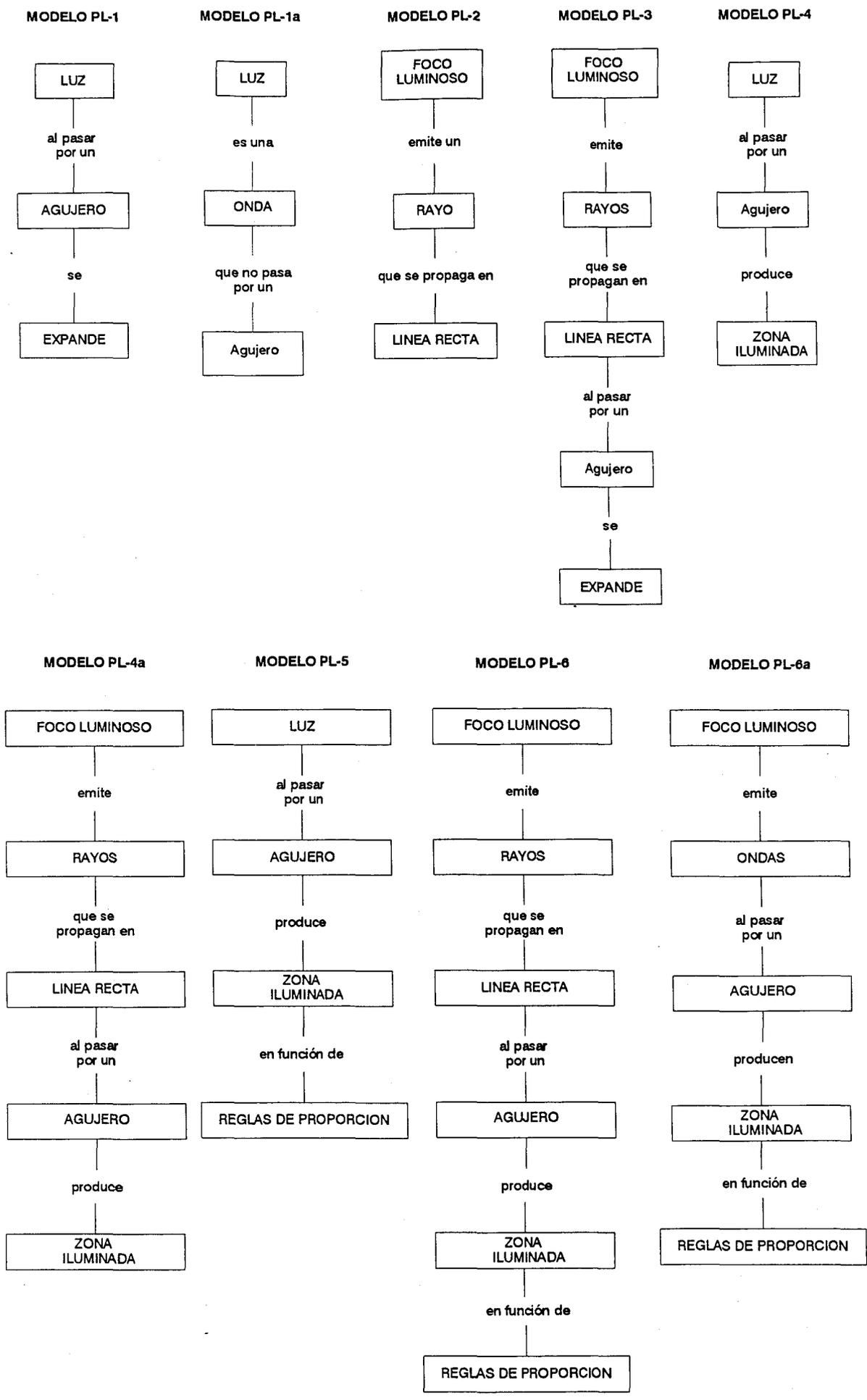


FIGURA 3.5

difracción, sea cuál sea el diámetro del mismo. Se asume que de un foco luminoso o de un manantial puntual salen muchos rayos.

En los *PL-4* y *PL-4a* (utilizados por cinco y un alumno respectivamente) las respuestas indican que son capaces de señalar la zona de iluminada cuando unos rayos de luz atraviesan un agujero; es decir, no parece que confundan esta situación con un fenómeno de difracción. No obstante, no especifican la justificación de sus afirmaciones, por lo que resulta difícil conocer las reglas de propagación que están aplicando. A su vez en el *PL-4* se detecta que no hay alusión a la propagación rectilínea en otros ítems de la prueba; mientras en el *PL-4a* sí la hay, aunque a veces se siga hablando de un rayo luminoso en una dirección privilegiada.

Se incluyen en el *PL-5* (utilizado por tres alumnos) aquellas respuestas en las que se reconoce que la luz, al atravesar un agujero, produce una zona iluminada según unas reglas correctas de propagación de la luz. No hay referencia explícita a lo que ocurre al accionar el foco luminoso, o a lo que pasa entre el foco y el agujero.

En los denominados *PL-6* y *PL-6a* (utilizados por once y dos alumnos respectivamente) están incluidas las respuestas que suponen, según nuestra opinión, un modelo más elaborado. Así en el primero de ellos se pone de manifiesto que el foco luminoso emite rayos de luz que se propagan en línea recta y, al pasar por un agujero, producen unas zonas iluminadas según unas reglas correctas de propagación de la luz. Mientras, en el caso del *PL-6a* se considera que lo emitido por los focos luminosos son ondas, aunque ello no dificulta un razonamiento justificado sobre lo que ocurre en la zona iluminada.

A la vista de los resultados obtenidos en los esquemas de propagación de la luz, podemos decir:

-en muchos de los modelos, se observa que no ha sido posible distinguir entre el foco luminoso y la luz, lo que parece confirmar la existencia de una confusión entre ambos conceptos

no diferencian entre foco luminoso y manantial puntual (siempre son puntos que emiten luz); esto les lleva a que no son capaces de diferenciar la zona de penumbra en los dibujos.

- muchos de los modelos se centran en aspectos observables (concretos o abstractos) de la luz, como puede ser el que los rayos se propaguen en línea recta, o que la luz pueda sufrir difracción.

- también se vuelve a apreciar en estos esquemas que sus estructuras son bastante simples y que no llegan a establecer las suficientes relaciones cruzadas entre los conceptos; a nuestro modo de ver, éstas suelen reflejar una visión más completa de la naturaleza de la luz.

Esquemas de las sombras

En esta ocasión, las preguntas de cuyas respuestas se extrajeron los esquemas son las que aparecen en el Cuadro 3.6.

Item	Enunciado
12	- Cuando el Sol está detrás de ti, ¿dónde está tu sombra?. Explica detenidamente tu respuesta.
13	- Paseando un día de verano soleado, se ve sobre el suelo la sombra de los árboles. Según tu ¿por qué hay sombra? a) Porque los árboles se reflejan en la tierra, b) Porque los objetos tienen sombras, c) Porque los árboles impiden pasar la luz d) Otra respuesta. Explica detenidamente tu respuesta.
17	- El dibujo de la figura (ver Apéndice IV.1) representa la sombra de una caja puesta en el suelo cuando está iluminada por una bombilla que alumbró muy poco. Después se cambia la bombilla por otra que alumbró mucho. Comparando con el dibujo anterior, escoge entre los tres dibujos el que da el valor correcta a la sombra. Señala con una cruz el dibujo escogido y explica respuesta.

Cuadro 3.6

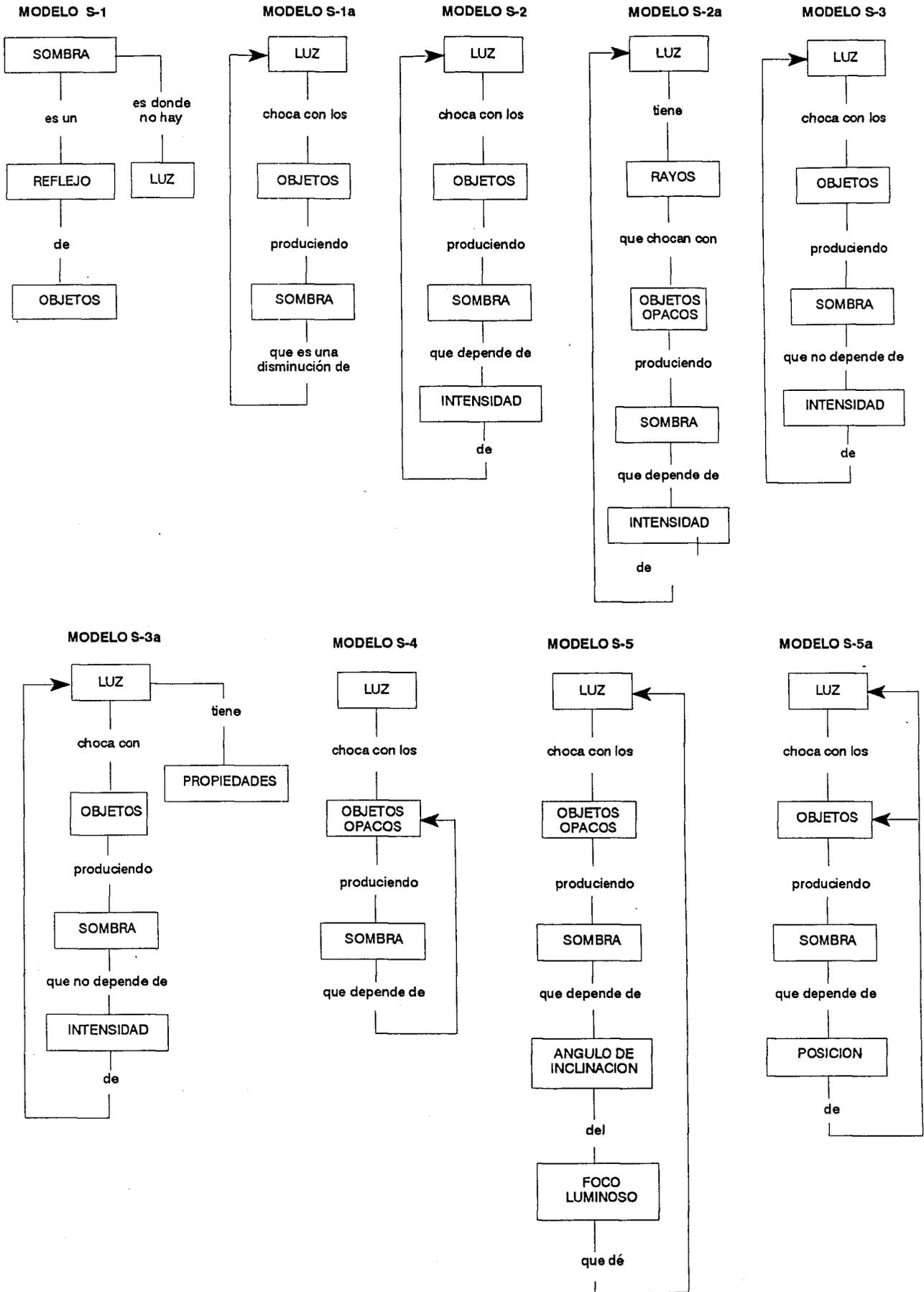


FIGURA 3.6

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 3.6.; los esquemas a los que se hace referencia se representan en la Figura 3.6 (página anterior).

Esquema	0	1	1a	2	2a	3	3a	4	5	5a
Frecuencia	5	5	1	8	9	11	3	6	2	1
Porcentaje	9.80	9.80	1.96	15.69	17.65	21.57	5.88	11.76	3.92	1.96

Tabla 3.6

En este caso se pudo establecer un modelo para casi todos los alumnos, probablemente por ser un fenómeno que llama la atención a cualquiera desde muy pequeño; sólo en cinco casos el modelo se puede considerar inexistente. Por otra parte hay que destacar que sólo tres alumnos hacen uso de los modelos *S-5* y *S-5a* que son los más completos, mientras que el modelo más utilizado es el *S-3*.

Las características comunes a las respuestas que hemos incluido en los modelos que hemos denominado *S-1* y *S-1a* (utilizados por cinco y un alumno respectivamente), son las grandes limitaciones al considerar cómo se producen las sombras; suelen ser contestaciones poco explícitas y con un alto grado de ambigüedad. Así, en el caso del modelo *S-1* se consideran las sombras cómo un reflejo de los objetos o como la ausencia de luz; mientras que para el *S-1a* son fruto de la disminución de la luz.

Las respuestas de los modelos *S-2* y *S-2a* (utilizados por ocho y nueve alumnos respectivamente), reconocen dónde se producirá la sombra y dan una interpretación de la causa de su presencia. En el caso del *S-2* tienen la creencia de que el tamaño de la sombra depende de la intensidad del foco luminoso o no lo saben; mientras que en el *S-2a*, aunque sostienen esta creencia errónea, dan una interpretación más completa al hecho mismo de la producción de las sombras, al introducir en sus explicaciones la idea de opacidad.

Se incluyen en los *S-3* y *S-3a* (utilizados por once y tres alumnos respectivamente) aquellas respuestas que, además de saber determinar dónde se sitúan las sombras producidas por un foco luminoso y un cuerpo y de dar una interpretación sobre cómo se producen, manifiestan la independencia del tamaño de la sombra con la intensidad del foco. Ambos modelos se diferencian en que en el *S-3a*, los razonamientos están apoyados en términos científicos, aunque a veces un tanto descontextualizados de su auténtico significado.

El *S-4* (que es utilizado por seis alumnos) incluye las respuestas en las que, además de referirse a la opacidad como condición de la producción de sombras, implícitamente manifiestan la independencia del tamaño de la sombra con la intensidad del foco luminoso y la dependencia con el tamaño del cuerpo opaco.

Incluimos en *S-5* y *S-5a* (utilizados por dos y un alumno respectivamente) las respuestas en las que se pone de manifiesto explícitamente la dependencia del tamaño de la sombra de algunas de las variables implicadas. Así, por ejemplo, en el *S-5* se habla del ángulo de inclinación del foco; mientras que en el *S-5a* se alude al cambio de posición del foco luminoso o del cuerpo opaco, de cara a la modificación del tamaño de la sombra.

A la vista de los resultados obtenidos en los esquemas de las sombras, podemos decir:

- no aparece en ningún esquema la relación existente entre la propagación de la luz en línea recta y las sombras, aunque en algunos de ellos se hace alusión a los rayos.

- hay un gran número de alumnos que consideran que éstas dependen de la cantidad de luz que haya en la habitación o, incluso, de la intensidad de la misma, la entienden como algo independiente del tamaño del objeto o de la posición de la fuente luminosa.

- en ningún momento aparece mención alguna al término penumbra, lo que parece indicar un desconocimiento del concepto; su confusión con la sombra pudiera tener su origen en la identificación del foco luminoso con el manantial puntual, como dijimos.

Esquemas de la reflexión de la luz

En esta ocasión se utilizaron una serie de preguntas para extraer los esquemas (sobre todo las relacionadas con la propagación de la luz), aunque las dos principales son las que aparecen en el Cuadro 3.7.

Item	Enunciado
14	- La habitación de la figura (ver Apéndice IV.1) es oscura y las paredes perfectamente negras, está completamente limpia, sin polvo ni humo en el aire. Si miramos en la dirección indicada por el ojo. ¿Podríamos ver la luz que entra por el agujero?. Explica detenidamente tu respuesta.
20	- ¿Qué zona de la pantalla estará iluminada? (Ver Apéndice IV.1)

Cuadro 3.7

Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 3.7.; los esquemas a los que se hace referencia se representan en la Figura 3.7 (página siguiente).

Esquema	0	1	1a	2	3	4
Frecuencia	15	10	10	2	4	10
Porcentaje	29.41	19.61	19.61	3.92	7.84	19.61

Tabla 3.7

Hubo, como en los casos anteriores, alumnos con los que no fue posible establecer un modelo, esta vez fueron 15, hecho poco justificado si consideramos las características del esquema. Los más utilizados fueron los *RL-1*, *RL-1a* y *RL-4* (todos ellos por diez de los alumnos cada uno); este último es el más completo de todos los encontrados en esta exploración inicial.

Los dos primeros modelos, que hemos denominado *RL-1* y *RL-1a* (utilizados por diez alumnos cada uno), incluyen las respuestas donde no se aprecia un conocimiento estructurado de la reflexión de la luz. Así, en el primero de ellos, se reconoce que la luz rebota en determinados cuerpos, como los espejos, pero tiene pocos matices más que pudieran resaltarse. Mientras en el *RL-1a*, en donde persiste la misma ambigüedad, se hace alusión a rayos luminosos, ya sea incidentes o reflejados, pero utilizando términos menos científicos que antes en sus razonamientos.

Se incluyen en el *RL-2* (utilizado por dos alumnos) las respuestas en las que se pone de manifiesto la existencia de rayos incidente y reflejado y que ambos se propagan en línea recta. No obstante, no son capaces de establecer las leyes acerca del comportamiento de dichos rayos.

El siguiente, que hemos llamado *RL-3* (utilizado por cuatro alumnos), es más completo que los anteriores, ya que incluye no sólo que la luz se propaga en línea recta y rebota en los espejos, produciendo la reflexión de la luz, sino que también la considera regida por leyes; no hace referencia concreta a ninguna de ellas.

El último, que hemos llamado *RL-4* (utilizado en este caso por diez alumnos), es de parecidas características al anterior. Añade a éste la propagación de la luz en línea recta, no sólo para los rayos que llegan al espejo, sino también para los reflejados; especifica, además, que el ángulo incidente y el reflejado son siempre iguales.

A la vista de los resultados obtenidos en los esquemas de reflexión de la luz, podemos decir:

- la reflexión aparece como una característica de la luz, pero se circunscribe únicamente a las superficies especulares y, por tanto, se atribuye en exclusiva a la presencia de un espejo.

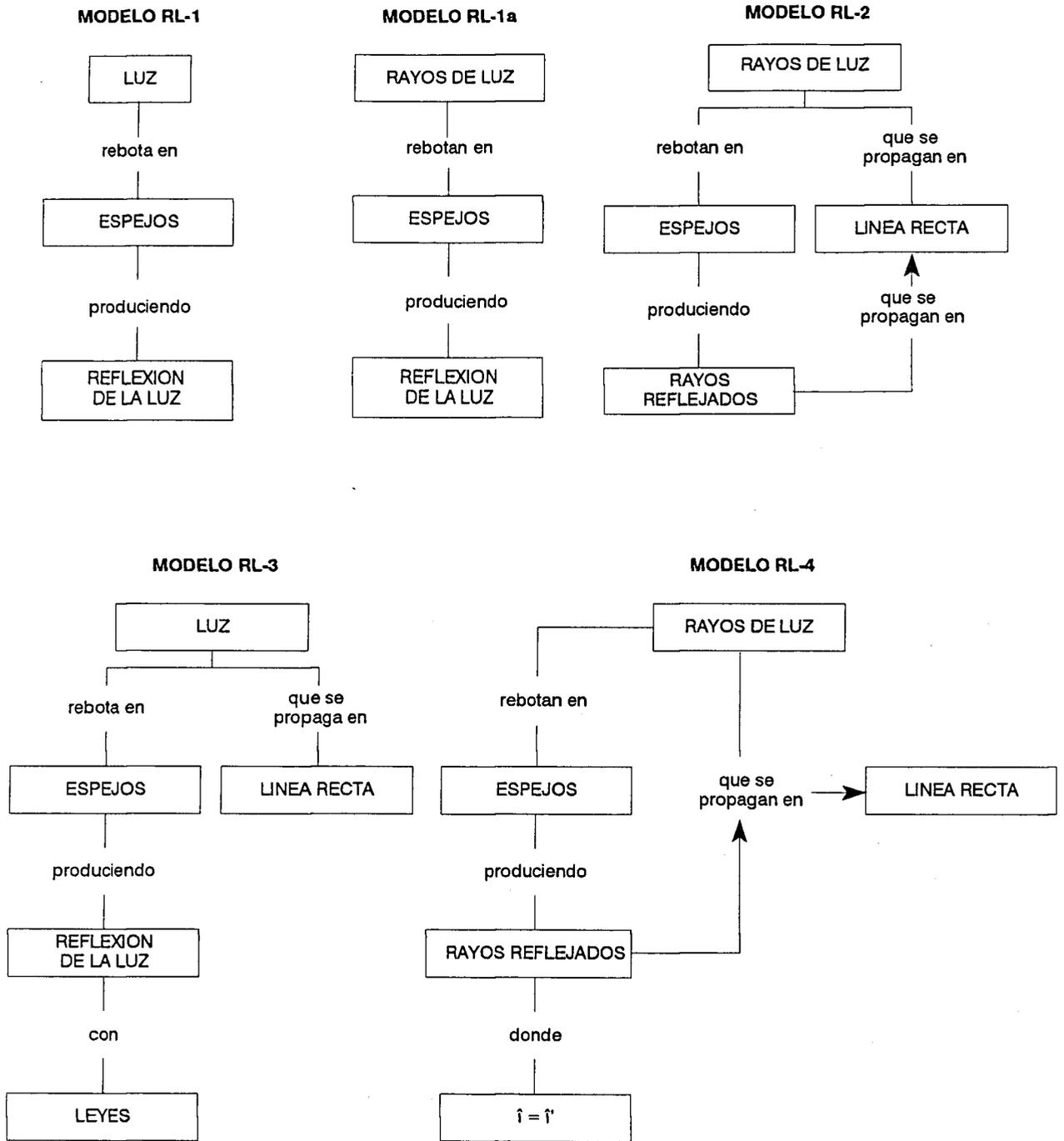


FIGURA 3.7

- también se aprecia en los esquemas que, para los alumnos de la muestra, la propagación de la luz se produce siempre en línea recta, aunque de forma aleatoria y sin ninguna ley que la regule.
- con respecto a las leyes de la reflexión, sólo se ha considerado (y en muy pocas ocasiones) la igualdad entre el ángulo de incidencia y el reflejado, mientras que no se incluye en ningún modelo el que ambos rayos han de estar en el mismo plano.

Esquemas de la refracción de la luz

Se utilizaron esta vez para la elaboración de los esquemas las dos preguntas que aparecen en el Cuadro 3.8, aunque una de ellas pertenecía a la prueba de contenidos procedimentales.

Item	Enunciado
15	- Juan está mirando dentro de un cubo. Hay un trozo de plastilina en el fondo que Juan no puede ver. (Ver Apéndice IV.1). Explica por que no y añade un dibujo a tu explicación si lo deseas. El cubo está ahora lleno de agua, Juan puede ver ahora el trozo de plastilina, aunque el no se ha movido y el cubo ha permanecido en el mismo lugar. Explica por que Juan puede ver ahora la plastilina que el cubo está lleno de agua, y añade un dibujo a tu explicación si lo deseas.
1p	- Sobre un vaso que contiene un líquido desconocido, se hacen llegar rayos luminosos con distinta inclinación y se miden los correspondientes ángulos de incidencia y de refracción. (Ver Apéndice IV.2) He aquí los resultados. ¿Qué conclusiones eres capaz de sacar de esta información?.

Cuadro 3.8

Los resultados se recogen en la Tabla 3.8.; los esquemas a los que se hace referencia se representan en la Figura 3.8 (página siguiente).

Esquema	0	1	1a	1b	2	3	4
Frecuencia	16	7	3	9	5	10	1
Porcentaje	31.37	13.73	5.88	17.65	9.80	19.61	1.96

Tabla 3.8

En este caso parece más que justificado que no fuera posible establecer un modelo en dieciséis ocasiones, ya que este fenómeno encierra una mayor dificultad de interpretación que los anteriores. Los esquemas deducidos son los más elementales de toda la prueba y sólo un alumno utiliza uno más completo. El esquema más usado fue el FL-3, por diez alumnos.

Las características comunes a las respuestas que hemos incluido en los dos primeros modelos, a los que hemos denominado FL-1 y FL-1a (utilizados por siete y tres alumnos respectivamente), son la poca consistencia de las mismas de cara a la identificación del fenómeno de la refracción de la luz. Así, en el caso del FL-1 sólo se atribuye a la luz la capacidad de atravesar cuerpos transparentes o de cambiar de medio; mientras que en el FL-1a la interpretación dada por los alumnos se centra en que el fenómeno consiste en un cambio de volumen. En cambio en el modelo FL-1b se alude a que el fenómeno de refracción es un reflejo provocado en determinadas condiciones, dando quizás al término "reflejar" un significado cotidiano.

Se incluyen en el FL-2 (utilizado por cinco alumnos) las respuestas que ponen de manifiesto la creencia de que se produce un cambio en la posición del objeto, pero sin aludir si es su imagen la que modifica su posición; parece que la refracción "aproximara" materialmente el objeto a la superficie de separación entre los dos medios.

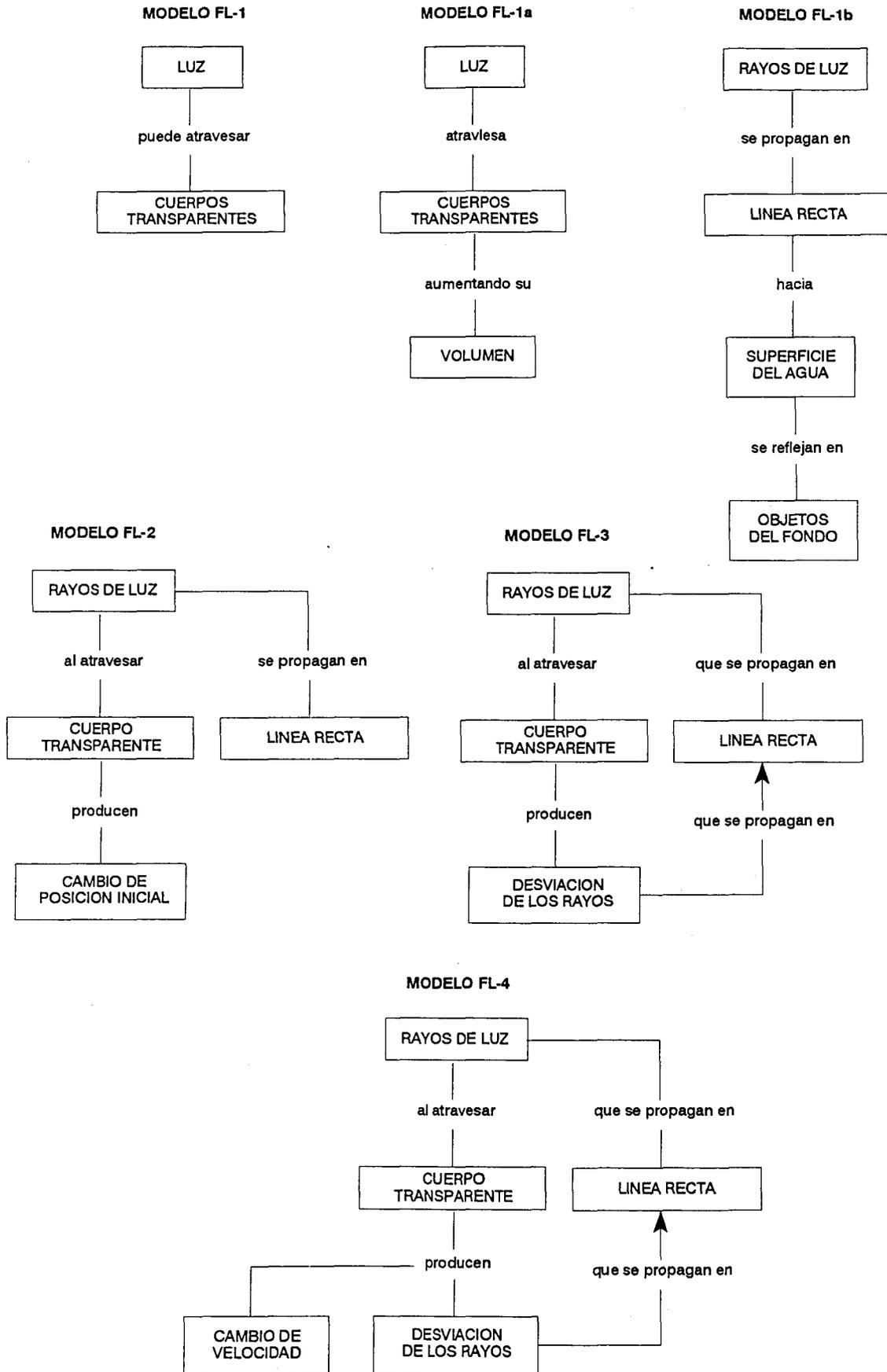


FIGURA 3.8

En el *FL-3* (utilizado por diez alumnos) se incluyen aquellas respuestas que reconocen alguna de las características del fenómeno. Así, por ejemplo, manifiestan que la refracción supone una desviación de los rayos luminosos, manteniendo que la propagación es rectilínea en ambos medios.

En el caso del *FL-4* (utilizado sólo por un alumno) se detecta el reconocimiento del fenómeno y la caracterización del mismo con dos aspectos: la desviación producida en la dirección de la propagación y el cambio de velocidad.

A la vista de los resultados obtenidos en los esquemas de la refracción de la luz, podemos decir:

- hay que destacar que la interpretación que los alumnos hacen de la refracción de la luz se centra fundamentalmente en sus aspectos más intuitivos, cómo el cambio en la dirección de los rayos con el cambio de medio.

- también es posible afirmar, que la mayoría consideran que la velocidad de la luz no varía cuando ésta cambia de medio, no existiendo por tanto ninguna relación entre el fenómeno de la refracción y la modificación de la velocidad de propagación.

- en las pocas ocasiones que consideran los ángulos incidente y refractado, lo hacen exclusivamente a nivel cualitativo.

- le atribuyen al objeto y no a la luz, la facultad de poder producir la refracción; para ellos, si el objeto no se ve como antes, es éste el que cambia de posición o de volumen y no se debe a que la luz modifique alguna de sus características.

- es fácil detectar la utilización, en muchos casos de forma indistinta, no sólo de los términos de reflexión y de refracción, sino de los conceptos que están implicados en ellos.

- también se vuelve a apreciar en estos esquemas, igual que ocurría con los anteriores que, para los alumnos de la muestra, la propagación de la luz parece producirse de forma aleatoria y sin ninguna ley que la regule.

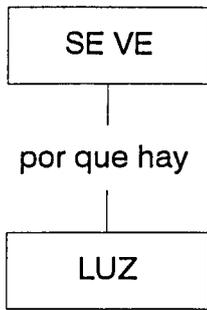
Esquemas del mecanismo de visión

Se utilizaron fundamentalmente las respuestas a las preguntas que se recogen en el Cuadro 3.9.pero, en algún caso, se recurrió a otras cuestiones

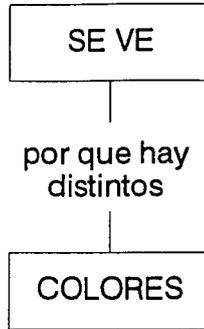
Item	Enunciado
11	- En la habitación de la fotografía (ver Apéndice IV.1),¿crees que hay luz?.Explica detenidamente tu respuesta.
14	- La habitación de la figura es oscura y las paredes perfectamente negras, está completamente limpia, sin polvo ni humo en el aire. Si miramos en la dirección indicada por el ojo. ¿Podríamos ver la luz que entra por el agujero?. Explica detenidamente tu respuesta.
15	- Juan está mirando dentro de un cubo. Hay un trozo de plastilina en el fondo que Juan no puede ver (ver Apéndice IV.1). Explica por que no y añade un dibujo a tu explicación si lo deseas. El cubo está ahora lleno de agua, Juan puede ver ahora el trozo de plastilina, aunque el no se ha movido y el cubo ha permanecido en el mismo lugar. Explica por que Juan puede ver ahora la plastilina que el cubo está lleno de agua, y añade un dibujo a tu explicación si lo deseas.
16	- Entre los objetos siguientes señala los que den luz: el fuego, una ventana, los ojos, una botella, una vela, el cielo, un lápiz, el Sol, una bombilla eléctrica, un espejo.

Cuadro 3.9

MODELO V-1



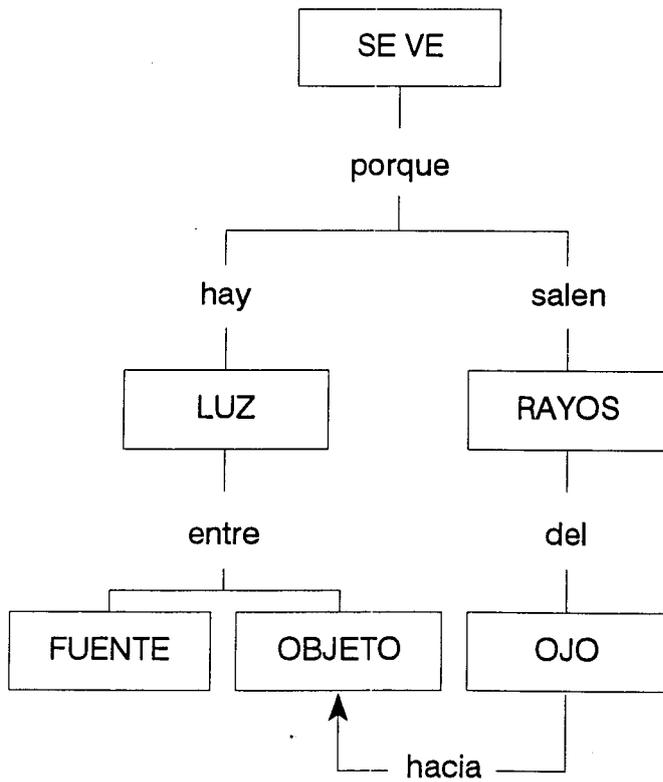
MODELO V-1a



MODELO V-2



MODELO V-3



MODELO V-4

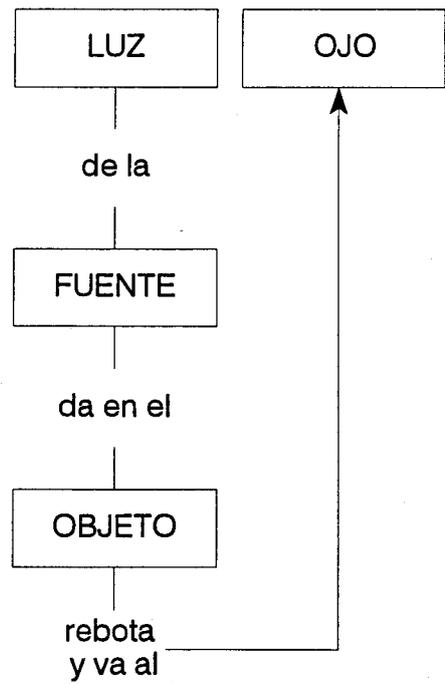


FIGURA 3.9

Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 3.9.; los esquemas a los que se hace referencia se representan en la Figura 3.9 (página anterior).

Esquema	0	1	1a	2	3	3/4	4
Frecuencia	6	3	1	9	17	13	2
Porcentaje	11.76	5.88	1.96	17.65	33.33	25.49	3.92

Tabla 3.9

Hay que destacar respecto al mecanismo de visión que sólo para seis alumnos no fue posible establecer un modelo, lo cuál parece lógico considerando la edad y el tipo de cuestiones planteadas. El modelo más utilizado fue el V-3, por diecisiete alumnos. También es reseñable que sólo en el caso de dos alumnos se utilizó el modelo más elaborado, que en esta ocasión, era el V-4.

En los dos primeros modelos, que hemos denominado V-1 y V-1a (utilizados por tres y un alumno respectivamente), se incluyen aquellas respuestas que se caracterizan fundamentalmente por su gran limitación. Así, en el primero de ellos, simplemente consideran que se ve porque hay luz, sin entrar en otras consideraciones interpretativas; mientras que en el V-1a la explicación de por qué se ve se centra en la diferencia de colores de los objetos, de manera que el alumno manifiesta que si no hay diferencias no se ve, sin entrar tampoco en otras justificaciones.

Las respuestas que hemos incluido en el V-2 (utilizado por nueve alumnos) no presentan diferencias significativas con respecto a los modelos anteriores. No obstante, parece deducirse de dichas respuestas, que el mecanismo de visión se debe a que la luz tiene ciertas propiedades, pero siempre con un alto grado de ambigüedad.

En el V-3 (utilizado por diecisiete alumnos), ampliamente resaltado en la literatura científica, están incluidas las respuestas que ponen de manifiesto la idea de que los ojos emiten unos rayos luminosos que, al chocar con un objeto iluminado, permiten que podamos verlo.

Las respuestas incluidas en el V-4 (utilizado por dos alumnos) indican una concepción correcta del mecanismo de visión: la luz choca en los objetos iluminados y se refleja en dirección a nuestros ojos. Sin embargo, parece deducirse la existencia de una dirección privilegiada en la reflexión de la luz lo que, desde nuestra perspectiva, hace que no pueda llegar a considerarse completa.

En el V-3/V-4 (utilizado por trece alumnos) están comprendidas las respuestas que, aunque en determinadas ocasiones se vislumbren esquemas más avanzados, arrastran los condicionamientos apuntados en el V-3 respecto a que el mecanismo de la visión pasa por que los ojos emitan rayos luminosos sobre los objetos a visualizar.

A la vista de los resultados obtenidos referentes a la visión, podemos decir:

- la mayoría de los alumnos de la muestra utilizan un modelo que se puede considerar incorrecto, bastante alejado del científicamente admitido y similar a los modelos históricamente superados.
- respecto a los que utilizan el modelo correcto debemos aclarar que no lo hacen siempre y lo comparten con otros que no lo son, lo que parece indicar su falta de arraigo en los estudiantes.

C.3.2.3 Estudio cuantitativo de los resultados de la prueba inicial de contenidos conceptuales

Para tener una visión más global de las respuestas obtenidas en la prueba inicial sobre los contenidos conceptuales del módulo de Ondas, se cuantificaron (ver Anexo 3.1) y se les aplicaron una serie de estadísticos básicos, algunos de cuyos resultados se recogen en la Tabla 3.10.

En la primera columna aparece el ítem; en la segunda el número de casos de los que disponíamos la información completa (tanto en esta prueba como en la final); la tercera y la cuarta recogen los valores máximos y mínimos obtenidos (recordamos que van de 0 a 4); la quinta se refiere a la media; la sexta a la desviación típica; posteriormente se indican las frecuencias de cada uno de los posibles niveles; y, por último los porcentajes correspondientes

Item	N ^a	Máx	Mín	Media	Des típ.	Frecuencias					Porcentajes (%)				
						0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
1	51	4	0	1.59	1.59	20	7	9	4	11	39	14	18	8	22
2	51	2	0	0.59	0.73	28	16	7	0	0	55	31	14	0	0
3	51	4	0	0.33	0.82	42	3	5	0	1	82	6	10	0	2
4	51	3	0	0.31	0.84	44	1	3	3	0	86	2	6	6	0
5	51	4	0	0.71	1.22	35	6	2	6	2	69	12	4	12	4
6	51	1	0	0.04	0.20	49	2	0	0	0	96	4	0	0	0
8	51	3	0	0.92	0.98	25	6	19	1	0	49	12	37	2	0
9	51	2	0	0.17	0.52	45	3	3	0	0	88	6	6	0	0
10	51	4	0	1.00	1.06	18	22	7	1	3	35	43	14	2	6
11	51	4	0	1.71	1.70	21	4	10	1	15	41	8	20	2	29
12	51	4	0	1.49	1.29	10	26	0	10	5	20	51	0	20	10
13	51	4	0	1.80	1.15	9	9	19	11	3	18	18	37	22	6
14	51	4	0	0.82	1.41	37	1	1	9	3	73	2	2	18	6
15	51	4	0	0.82	1.16	31	5	9	5	1	61	10	18	10	2
16	51	4	0	3.00	1.61	10	0	5	1	35	20	0	10	2	69
17	51	4	0	0.82	1.13	31	3	13	3	1	61	6	25	6	2
18	51	4	0	1.33	1.53	25	5	7	7	7	49	10	14	14	14
19	51	4	0	2.59	1.67	10	6	7	0	28	20	12	14	0	55
20	51	3	0	0.55	0.88	34	8	7	2	0	67	16	14	4	0

Tabla 3.10

Se observa que hay once de los diecinueve ítems cuyos resultados tienen una media inferior a 1. Están referidos al movimiento ondulatorio, a la frecuencia, dos a la propagación del sonido, a su intensidad, al eco, a las cualidades del sonido, al mecanismo de visión, a la refracción de la luz, a las sombras y a la propagación de la luz. Sólomente dos de ellos la tienen superior a 2 (uno respecto a la producción y otro respecto a la propagación de la luz).

También se aprecia que en diez ítems -un poco más de la mitad del total- tiene un número de ceros superior al 50%; este número se incrementa hasta dieciseis si consideramos los que, entre ceros y unos, son más del 50%.

Estos valores contrastan con los dos ítems que tienen un número de cuatros superior al 50%. Lo que pone de manifiesto los escasos conocimientos que tenían los alumnos sobre los contenidos conceptuales de las Ondas, Sonido y Luz, antes de comenzar nuestra intervención.

Puesto que ya han sido descritos en los apartados anteriores, parece lógico que, en lugar de seguir comentando los resultados cuantitativos, nos centremos en las consecuencias didácticas que tuvieron para nuestra propuesta.

Respecto al *ítem 1* son varias las conclusiones que podemos extraer para nuestra propuesta didáctica. En primer lugar, sería necesario establecer la diferencia existente entre onda, emisor y receptor, que tienden a confundir, utilizando profusamente todos los ejemplos que sean necesarios para ello; habría que ampliar la visión de las ondas más allá de las sonoras, a las que consideran "las ondas por excelencia"; también tendríamos que eliminar la concepción sesgada de las ondas, que las limita a las transversales y no sólo las materiales; por último, sería conveniente establecer las diferencias entre los movimientos ondulatorios y los periódicos.

En función de los resultados del *ítem 2*, parece necesario profundizar, a través de diversas y numerosas situaciones, en el concepto de onda y en sus características; por otro lado hay que establecer las diferencias existentes entre los movimientos corpusculares y los ondulatorios. También sería conveniente, si todavía no se ha hecho, profundizar en el concepto de energía.

Las características de las respuestas del *ítem 3* nos conducen inexorablemente a la necesidad de observar un especial cuidado con las actividades en las que aparezcan los conceptos de frecuencia y longitud de onda, ya que con toda probabilidad las confusiones detectadas van a dificultar su desarrollo. Posiblemente el conocimiento convencional o exclusivamente matemático impiden la conceptualización de las magnitudes ondulatorias; pero estamos ante unas magnitudes fundamentales, en torno a las cuales gira gran parte de la sistematización del estudio de las Ondas y del Sonido.

En la mayoría de las respuestas del *ítem 4* se apreciaba un gran desconocimiento sobre el vacío y la composición de la materia; también se observaba el uso del modelo corpuscular en los razonamientos sobre el sonido. De ahí que debemos establecer situaciones de aprendizaje donde, a partir de las necesidades detectadas por los propios alumnos, redefinan o definan los modelos interpretativos de la materia y, sobre todo, los utilicen para valorar su eficacia en la aplicación a situaciones reales.

El *ítem 5* requería para su realización, el dominio del concepto de onda y su posterior aplicación a un caso concreto; lo que, a la vista de los resultados, no está al alcance de muchos alumnos. Convendría, por ello, que no se utilizaran este tipo de preguntas tan complejas por la superposición e interrelación de los conceptos implicados. Se podría en todo caso, plantear al final de la parte del módulo correspondiente al Sonido, donde tuvieran una visión más completa del mismo, ya que, si no es así, podría ser contraproducente y llegar incluso a desanimarles; pero sobre todo, resulta poco útil para una exploración que pretende conocer lo que el alumno sabe (no sólo lo que desconoce) de cara a utilizarlo en el proceso de aprendizaje.

Los resultados del *ítem 6*, los más bajos de toda la prueba, nos indican claramente que su concepción sobre el Sonido tiene poca o ninguna consistencia científica, ya que aunque nominalmente lo consideran una onda, debajo de ese término podemos decir que no existe gran cosa. La conclusión más interesante que sacamos de aquí, es que no sólo es necesario trabajar intensamente el concepto de sonido como onda, sino que es fundamental incidir en lo verdaderamente significativo; aún a costa de "sacrificar" contenidos, que en cualquier caso, no van a ser asimilados con sus estructuras cognitivas.

En las respuestas del *ítem 8* se puede apreciar la poca consistencia de las argumentaciones utilizadas para justificar sus afirmaciones, independientemente de la opción elegida, y la falta del vocabulario adecuado para diferenciar amortiguación de reflexión. Convendría, a la hora de plantear las actividades, tener presente estas carencias, por ello sería muy interesante, por ejemplo, utilizar textos de apoyo, que colaboraran a enriquecer su vocabulario a la vez que les obligaran a interpretar y cuestionar su lectura. Pero, además, hay que seguir insistiendo en el uso de argumentos para la defensa de cualquier afirmación científica que surja en el contexto del aula.

El inesperado rendimiento del *ítem 9*, se lo atribuimos al desconocimiento que los alumnos tienen de la existencia del concepto de timbre que, en muchas ocasiones, identifican con el tono; pero también a la falta de relación entre las cualidades de un sonido y las magnitudes características de las ondas. Por ello las actividades de

trabajo planteadas para la adquisición de estos contenidos, es fundamental que estén diseñadas para que provoquen el conflicto que permita aclarar y justificar ambas cualidades. Además, habrá que buscar abundantes ejemplos de la vida cotidiana donde se apliquen estos conocimientos.

A la vista de las respuestas del *item 10*, las decisiones que habría que tomar, irían dirigidas a hacer un mayor hincapié en relacionar el sonido con la audición, fomentar la aplicación de los conceptos aprendidos en situaciones reales y provocar la distinción entre las distintas cualidades del sonido. La utilidad de lo que aprenden sobre su propio cuerpo creemos que es un elemento insustituible en un periodo de educación básica. Tanto la audición como la visión, en el caso de la luz, son contenidos formativos de especial importancia en estos módulos. Se debe huir de la creencia de que sólo las Ciencias Naturales son útiles para el conocimiento de uno mismo o del entorno que rodea al estudiante.

La relativa sorpresa del rendimiento del *item 11*, nos lleva a ser sumamente cuidadosos en la planificación de las tareas de los alumnos; deberán ser tales que paulatinamente los familiarice con el vocabulario propio de la luz, provoque la necesidad de cuestionar y diferenciar entre foco luminoso y luz, y evite la distinción entre la luz eléctrica y del Sol, a las que les atribuyen dos categorías diferentes. Sin duda, el solapamiento con algunas expresiones del lenguaje cotidiano puede ser el origen de algunas de las afirmaciones.

De los resultados del *item 12* extrajimos varias conclusiones para nuestra propuesta didáctica. En primer lugar, parece necesario que se les presente el trabajo a los alumnos de forma, que se vean obligados no sólo a justificar constantemente sus afirmaciones, sino a ser rigurosos en el lenguaje utilizado (por ejemplo a través de un debate); en segundo lugar, habría que plantear diversas situaciones en las que las sombras se relacionaran con la presencia del concepto de cuerpo opaco y la propagación rectilínea de la luz. Ciertamente, el problema de las sombras ha dejado superadas causalidades animistas, aristotélicas, egocéntricas,... pero persisten situaciones impropias de estas edades, según lo previsto en la literatura científica.

A la vista de las respuestas del *item 13*, las consecuencias para nuestro trabajo docente son similares a las del *item* anterior incluyendo, en este caso, la necesidad de no obviar que en un número muy pequeño de respuestas se atribuye la formación de la sombra al reflejo del cuerpo. Muchas veces estas concepciones no están arraigadas mayoritariamente en la clase pero condicionan otros logros cognitivos, por lo que hay que "perder el tiempo" con la minoría, de cara a facilitar otros aprendizajes más completos.

De los datos del *item 14*, podemos deducir la existencia de dos grupos de distinto tamaño y absolutamente diferenciados; pero también que es necesario realizar actividades (sobre todo de índole práctico) de forma recurrente sobre la visión, en las que se relacione ésta con la luz y su reflexión, y en las que se ponga de manifiesto que la simple condición de la existencia de luz no basta para provocar nuestra visión. Los modelos alternativos recogidos en la literatura científica son utilizados por un porcentaje más que apreciable de la muestra. La heterogeneidad de la misma supone una situación habitual en las aulas pero que no debe obviar un tratamiento más personalizado de la enseñanza, aunque muchas veces resulte de gran dificultad.

El *item 15*, en el que intentábamos sondear sus conocimientos sobre la refracción, los resultados obtenidos son los esperados, teniendo en cuenta la dificultad de la segunda parte de la pregunta. La gran complejidad que tiene este concepto para los alumnos de estas edades nos ha de llevar a que, por lo menos, sean capaces de establecer unas relaciones (cualitativas) existentes entre el cambio de dirección del rayo y el de la velocidad de la luz al cambiar ésta de medio. Es necesario, por otro lado, que las actividades encaminadas a su aprendizaje tengan presente, ahora más que nunca, las ideas que aportan inicialmente, en las que es fácil detectar confusiones como la existente entre la refracción y la reflexión, o entre cuerpo e imagen.

En las contestaciones del *item 16* se aprecian graves errores desde el punto de vista científico: identificar la luz con sus efectos o atribuir la capacidad de producir luz sólo a focos luminosos de gran potencia o a determinados objetos, por el mero hecho de ser brillantes o simplemente de reflejarla. Nuestros esfuerzos, por tanto, han de ir dirigidos a lograr eliminar todas estas ideas alternativas, para lo cual es necesario que las actividades de trabajo planteen la reflexión necesaria en este tipo de situaciones. Importante también va a ser la clarificación entre foco y manantial luminoso.

En el *item 17*, en el que se les planteaba otro problema sobre las sombras, los resultados fueron muy poco satisfactorios. Por ello, es preciso tomar nota de todo esto y tenerlo presente, a la hora de la enseñanza del concepto de sombra y de como se forma, planteando el número de actividades necesario para erradicar, por ejemplo, la dependencia de la potencia luminosa del foco y lograr en cambio que se relacione con el tamaño del objeto, con la

posición de éste y con la del foco. Aunque pueda pensarse muchas veces que hay "conocimientos evidentes", no es menos cierto que esto no concuerda con los resultados obtenidos.

Las contestaciones del *item 18*, con el que pretendíamos sondear sus conocimientos sobre la velocidad de la luz, nos sugieren el camino que hemos de seguir en relación a la enseñanza de la propagación de la luz: cuestionar el hecho de que la luz es instantánea -independientemente de que podamos apreciarlo o no-, diferenciar dentro de la propagación de la luz el que lo haga en todas direcciones con su velocidad, e insistir una vez más en diferenciar la luz de sus efectos. Ciertamente la magnitud de las cantidades que se van a poner en juego dificultan la profundidad de las interpretaciones que se realicen; no obstante, habrá que insistir en este tema de forma especial, por sus problemas de comprensión e interiorización por los alumnos.

Volviendo a insistir sobre la propagación de la luz, se les planteó el *item 19*, donde las respuestas de los alumnos fueron mucho mejores que las del anterior. Tienen unas características similares a otras contestaciones, pero es posible extraer un nuevo dato muy interesante: muchos alumnos consideran que es posible que exista luz, por ejemplo, en la bombilla y sobre el objeto iluminado, pero no en la zona intermedia. La presencia de razonamientos ambiguos o confusos no son más que un recurso especulativo ante este tipo de preguntas.

En el *item 20*, los resultados volvieron a ser tan insatisfactorios como en el resto. Ello nos lleva, junto con el análisis de las respuestas, a que consideremos necesario fomentar en los alumnos la utilización de dibujos para la justificación de sus respuestas, plantear actividades explícita o implícitamente que colaboren a diferenciar por ejemplo, foco luminoso de manantial puntual, trayectoria rectilínea de trayectoria horizontal, luz directa de luz reflejada y los conceptos de sombra y penumbra entre sí.

C.3.2.4 Conclusión de la Subhipótesis Uno (SH1.1)

Después de haber analizado los resultados obtenidos en la prueba inicial de contenidos conceptuales sobre las Ondas, el Sonido y la Luz, hemos decidido aceptar como verdadera la Subhipótesis Uno (SH1.1) que decía:

Los conocimientos de los alumnos, respecto a los contenidos conceptuales de las Ondas, al Sonido y la Luz son escasos y poco estructurados.

C.3.3 RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA SH.1.2: PRUEBA INICIAL DE CONTENIDOS PROCEDIMENTALES

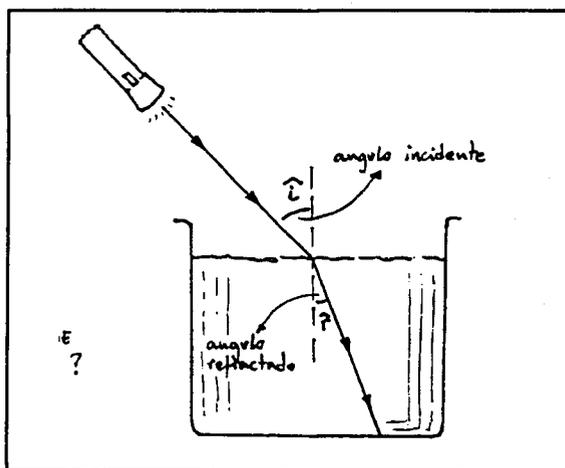
El estudio de los resultados de la prueba inicial de contenidos procedimentales lo hemos dividido en dos partes. Por un lado, queríamos realizar una descripción de las respuestas dadas por los alumnos para ver cuáles eran sus características más singulares de cara a la impartición de nuestra propuesta.

Posteriormente también realizaríamos una cuantificación de los resultados obtenidos que nos permita una percepción más globalizada de la información recogida; Para ello también utilizamos el paquete estadístico SYSTAT que nos facilitaba las prestaciones que necesitábamos en este estudio cuantitativo.

C.3.3.1 Descripción de los resultados de la prueba inicial de contenidos procedimentales

Como ya se dijo anteriormente, se les pasó a los alumnos una prueba para la evaluación de procedimientos que constaba de cinco preguntas (ver Apéndice IV.2). La categorización inicial de las respuestas siguió las pautas descritas en el Anexo 3.2. Las características más singulares fueron:

a) Respecto al ítem 1p (*Sobre un vaso que contiene un líquido desconocido, se hacen llegar rayos luminosos con distinta inclinación, y se miden los correspondientes ángulos de incidencia y refracción (se les dieron ocho valores). ¿Qué conclusiones eres capaz de sacar de esta información?*).



De los 41 alumnos que contestaron, solamente cuatro lo hicieron de forma completamente errónea y, por lo tanto, sin atender a algunos de los requisitos que debíamos valorar.

De los 37 restantes, sólo uno de ellos dió una respuesta que se puede considerar correcta, ya que en ella se hacía alusión de forma adecuada a: la identificación del cambio de dirección y/o del ángulo producido en los rayos luminosos, el establecimiento a su vez de la existencia de una relación con el medio y la determinación de la relación cuantitativa entre los ángulos de incidencia y refracción, como una relación no directamente proporcional:

"Que los rayos luminosos al entrar en contacto con el líquido, el líquido actúa de manera de lente y cambia el sentido de dichos rayos; y cuanto mayor sea el ángulo de incidencia, el ángulo de refracción también será mayor, pero no aumenta proporcionalmente sino que cada vez que cambiamos a más grande el ángulo de incidencia, el ángulo de refracción aumentará pero cada vez menos".

Otro grupo de 10 dieron una respuesta que se puede considerar bastante correcta, aludían de forma adecuada a casi todas las partes que considerábamos fundamentales:

"Pues que las ondas luminosas, cuando dan con un medio líquido no siguen su trayectoria, sino que al entrar en el agua se desvían de su trayectoria o se refractan, y también creo que el ángulo de incidencia cuanto más inclinado esté, mayor será el ángulo refractado".

"Que el ángulo de refracción es siempre menor que el ángulo de incidencia, y que la diferencia entre estos dos ángulos no es proporcional".

"Se podría decir que la luz de la linterna al introducirse en el agua, choca con ella y se desvía; y otra de las conclusiones sería que cuanto mayor sea el ángulo de incidencia, mayor es el ángulo refractado".

"Que no son proporcionales los ángulos, y que el ángulo de refracción siempre será menor que el de incidencia", etc.

Otro grupo de 16 dieron una respuesta que se puede considerar parcialmente correcta, ya que se referían a algunos de los aspectos que considerábamos importantes:

"Que el agua desvía el rayo de luz, disminuyendo el ángulo de inclinación que llevaba, creo que esto sucede porque pasa el rayo de un medio gaseoso a uno líquido, pero sólo se aprecia en los líquidos transparentes".

"Cuanto mayor es el ángulo de incidencia, también es mayor el ángulo refractado en medios líquidos".

"Pues que cuanto mayor es el ángulo de incidencia, aumenta el de refracción, pero cada vez aumenta menos, o sea que la diferencia de los ángulos de refracción son cada vez menores".

"Que cuanto más inclinado esté el ángulo de incidencia, más torcido estará el ángulo de refracción con respecto al ángulo de incidencia", etc.

Otros 10 alumnos dieron una respuesta prácticamente incorrecta, ya que simplemente se hacían comentarios ambiguos:

"Que la luz no se propaga en línea recta después de haber chocado con cualquier líquido".

"Que cuanto mayor es el ángulo incidente, es mayor el ángulo de refracción; los ángulos son proporcionales".

"Que en el agua los rayos de luz se desvían x grados, y nunca se proyectan directamente rectos".

"Que las ondas luminosas se refractan según el medio y ángulo de incidencia", etc.

Podemos afirmar que los resultados son los mejores de esta prueba. Como consecuencia podríamos decir que los procedimientos implicados parecen resultar más fáciles que otros, como el diseño de experiencias o la elaboración de hipótesis.

Por otro lado, si agrupamos las respuestas en función de la calidad de las mismas, encontraríamos alguna conclusión interesante. Así, se observa, que en el mayor número de los casos, las respuestas se limitan a contener una o dos conclusiones, sin profundizar en la ampliación de número y conformándose con describir la primera que hayan determinado. Las justificaciones tampoco son completas, limitándose a veces a la utilización de términos más o menos técnicos, o simplemente a describir su opinión.

Se detecta también la falta de un mayor número de relaciones entre las distintas partes de la respuesta, lo que parece denotar la falta de esquemas coherentes que lo sustenten.

b) Respecto al ítem 2a-p (*Se sabe que es posible escuchar lo que dice una persona a 1 Km de distancia si el viento está a favor -sobre todo si estamos en invierno. a) Elabora una hipótesis para explicar este hecho*).

Un pequeño grupo (6/37) de los que respondieron a la pregunta, hicieron una hipótesis prácticamente completa ó bastante correcta, ya que incluyeron casi todas las partes que se pueden considerar fundamentales (determinación de la variable principal, posibilidad real de contrastación, etc.):

"El viento transporta y lleva con mayor facilidad el sonido, la onda; y según la temperatura del ambiente, si es fría y húmeda hay unas moléculas más unidas por lo que se transmitirá la onda con mayor facilidad al chocar unas con otras".

"Que al estar a favor del viento, la onda se propaga mejor que estando en contra. En invierno la densidad del aire, hace más propicio el movimiento de la onda", etc.

Otro grupo de alumnos (7/37) hicieron unas hipótesis confusas, ya que carecían de alguna de las partes ya mencionadas:

"Porque las ondas sonoras se verían empujadas por la fuerza del viento y avanzarían más".

"Con el viento a favor las ondas del sonido tardarían menos en llegar".

"Porque si hace viento las ondas se esparcen más lejos y si no hace calor no se pierden pronto", etc.

Otro grupo más numeroso (22/37) hicieron unas hipótesis muy incompletas, ya que sólo hacían referencia a alguna de las partes que consideramos que constituyen una hipótesis:

"Que puede ser que el viento transporte la voz expulsada de esa persona y la transporta hasta que se pierde".

"Si la persona habla en la misma dirección que la del viento, el viento ayudará a las ondas a que llegue antes. Si se pone de espaldas, a las ondas les costará más llegar", etc.

Teniendo en cuenta que, para estos alumnos, la emisión de hipótesis también era una tarea habitual, los resultados no se pueden considerar satisfactorios. Probablemente sea debido a que la mayoría no dispone de un modelo coherente que explique la propagación del sonido, lo que influye claramente en las respuestas. De hecho se puede observar que utilizan para su respuesta el modelo corpuscular.

Y, por último, teniendo en cuenta que la mayoría de las hipótesis eran incompletas o incorrectas, parece evidente que la gran dificultad conceptual de esta parte de la asignatura puede influir decisivamente. En cualquier caso el contenido procedimental al que estamos aludiendo es uno de los más complejos para su aprendizaje institucional y lleva consigo unas exigencias metodológicas que hayan "acostumbrado" al alumno a realizar conjeturas, predicciones,....

c) Respecto al ítem 2b-p (*Se sabe que es posible escuchar lo que dice una persona a 1 Km de distancia si el viento está a favor -sobre todo si estamos en invierno b) Diseña una experiencia para poder comprobar la hipótesis de la pregunta anterior*).

Hubo muchos (12/43) que no contestaron a la pregunta, lo que parece lógico ateniéndonos a los resultados de la pregunta anterior. De todos los que contestaron, podemos considerar que 28 hicieron realmente un diseño.

De ellos, un grupo (10/28) hicieron un diseño correcto y completo, ya que hacían referencia a todas o a la mayoría de los aspectos del mismo que consideramos fundamentales (repetición de las medidas, posibilidad real de llevarla a cabo, distancia suficientemente grande para que el tiempo sea medible con una cierta precisión, etc):

"Se colocan dos personas a un kilómetro de distancia. Primero en invierno, con el viento a favor y con el viento en contra, se probaría para ver si se oyen el uno al otro; y luego en las demás estaciones, con el viento a favor y en contra, y así probaríamos con que estación y posición frente al viento captaríamos mejor la voz de la otra persona".

"Dos personas a la misma distancia una de otra, una da un grito en sentido contrario al viento, que lleva una velocidad de 60 Km/h y, luego lo haría al revés la persona que grita, con la misma intensidad que antes y de espaldas al viento que lleva la misma velocidad, y la otra persona compararía. Esta prueba la haría un día de mucho calor y otro de mucho frío y con las mismas condiciones", etc.

Otro grupo (10/28) hicieron un diseño que se puede considerar correcto desde el punto de vista científico, pero incompleto:

"Cuando vas por la calle y el viento viene en contra y le gritas a una persona, no te oye si estás bastante lejos; pero si el viento viene a tu favor la persona a la que le has gritado te escucha, aunque esté más lejos que antes".

"Una persona se pone a cien metros con un gran ventilador detrás. Si habla, las ondas serán ayudadas por el ventilador, después se pone de cara al ventilador y se oye como si la voz te la cortaran".

"Irse a un descampado que tenga más de 1 Km de largo, señalar un kilómetro de distancia, y en medio, entre estos dos puntos colocar un pañuelo para ver la dirección del viento, y cuando haya el suficiente viento, gritar para que el viento esté a favor de las ondas del que grite", etc.

Otros (8/28) hicieron un diseño bastante incompleto o bien se limitan a describir un ejemplo, lo cual obviamente no es lo que se le pregunta:

"Dos personas, gritando en las diferentes épocas del año. Si en invierno se oye más que en verano será cierto".

"Cuando un corredor de velocidad tiene el viento a favor, las marcas serán inferiores porque su cuerpo es empujado, y sufre una ayuda del viento", etc.

Podríamos afirmar, a la vista de las respuestas, que muchos de los alumnos son capaces de delimitar las variables fundamentales y que la mayoría de los diseños tienen visos de realidad y se pueden llevar a la práctica; pero en cambio, se observa también falta de rigor a la hora de plantear el diseño en sí, ya que muchos de ellos se conforman con un planteamiento superficial o incompleto.

d) Respecto al ítem 3 (*La gente del campo cuando ve una tormenta, y quiere saber a cuantos kilómetros de distancia se encuentra hace lo siguiente: espera a que caiga un rayo, cuenta los segundos que pasan, desde que se ve el*

relámpago hasta que se oye el trueno, y divide esos segundos entre tres. ¿Crees que el procedimiento es correcto desde el punto de vista científico?. Justifica tu respuesta.)

Un gran número (35/43) dieron una respuesta a la pregunta, por lo que podemos suponer que la consideraban relativamente asequible. No obstante, únicamente 29 la contestaron realmente, mientras que el resto no respondió a lo que se les preguntó.

Sólamete uno de ellos lo hizo de forma prácticamente correcta:

"Sí podría ser, porque la velocidad del sonido es de 300 m/s aproximadamente, entonces si transcurren tres segundos desde que se ve el rayo hasta que se escucha se puede saber que está a un kilometro de distancia".

Un pequeño grupo (7/29) dieron una respuesta que se puede considerar parcialmente correcta (por ser incompleta, o porque lo justificaron de forma confusa):

"Sí es perfecta, porque el sonido que viaja tarda un cierto tiempo en llegar al tímpano, entonces si vemos la luz del relámpago donde está la tormenta, el trueno ya se ha producido, pero el sonido tarda en llegar un cierto tiempo. Entonces con un reloj, midiendo el tiempo que tarda en oírse el trueno, se puede saber el tiempo que va a tardar en llegar la tormenta o a cuanta distancia se encuentra".

"Sí, es correcto, si el relámpago va a la velocidad de la luz no habrá diferencia de tiempo, a partir de ahí, cuenta el tiempo que tarda en oírse el trueno, y la distancia sería multiplicando el tiempo por la velocidad del sonido", etc.

Otro grupo (5/29) dieron una respuesta muy incompleta, o insuficientemente justificada; no sabemos si por problemas de comunicación o, como hemos comentado, por "responder sin decir nada":

"Yo pienso que sí, porque las ondas del sonido van más lentas que la luz, y porque tu, viendo el rayo, no puedes saber donde ha caído, y por eso hacen ese procedimiento y dicen -pues está a tantos km de distancia-".

"Sí, porque si es un hecho comprobado es verdad. Y la gente cuando oye el relámpago y cuenta los segundos espera a que suene otro, y si desde el primer relámpago hasta el segundo pasan 10 seg. por ejemplo, y del segundo relámpago al tercero pasan 15 seg. quiere decir que la tormenta se está alejando. Si es al contrario es que se está acercando cada vez mas. Lo dividen luego entre 3 para saber a cuantos km está la tormenta", etc.

El resto, que eran 16, dieron una respuesta que se puede considerar completamente incorrecta, ya que se centraban solamente en decir si es o no correcto y/o exacto el procedimiento pero sin ninguna justificación:

"Yo creo que puede ser correcto, para una vez que ya lo saben, ya saben el tiempo que tienen para preparar y fortalecer la casa o ganado o cualquier otra cosa".

"Sí, porque desde el punto de vista científico es algo que se comprueba, y es cierto".

"Puede ser un procedimiento no muy perfecto, pero el método es muy bueno y la medida es lo que no es muy verdadera", etc.

Un aspecto que nos gustaría resaltar es el poco uso que los alumnos han hecho del aparato matemático en sus respuestas quizás, por la gran dificultad que para ellos presenta su utilización. En cualquier caso, se observa la dificultad que tienen, a la hora de profundizar en sus justificaciones, ya que la mayoría de ellos se han limitado a comentar sus impresiones, más que a justificarlas.

e) Respecto al ítem 7 (prueba conceptual) (*¿Podrías diseñar una experiencia para demostrar que cuando tiramos una piedra a un lago se produce una onda?*).

Bastantes (18/43) no contestaron, lo cual parece lógico teniendo en cuenta la falta de hábito de los mismos para responder, sobre todo por escrito, a este tipo de preguntas. De los que contestaron (25/43) sólo cuatro de ellos hicieron realmente un diseño, aunque incompleto -ya que hacían referencia a alguna de las partes del mismo que se pueden considerar fundamentales (repetición de las medidas, posibilidad real de llevarla a cabo, etc.)- del tipo:

"Se pone un barquito encima del agua, después se tira la piedra un poco alejada del barquito, si el barco empieza a subir y bajar es que se ha producido una onda (acompañándose el texto con un dibujo)".

El resto de los que respondieron simplemente nombró alguna característica de las ondas, pero sin hacer un diseño:

"Si se producen ondas que son unos circulitos pequeños que salen de donde ha caído el objeto".

"Si se produce, porque la piedra al chocar con el agua produce ruido, y ese ruido se desplaza en ondas a través del agua (por eso hace círculos cuando tiramos la piedra)".

"Si tiras una china a un vaso lleno de agua verás que el agua producirá unas ondas al haber una vibración", etc.

Analizando las respuestas obtenidas, nos llama la atención que los alumnos, cuando están hablando de ondas, la mayoría está pensando en el sonido, olvidándose de todas las demás; por eso al contestar, lo hace intentando demostrar que lo que se ha producido en el agua es una onda sonora.

En cualquier caso, los resultados obtenidos se pueden considerar poco satisfactorios, ya que para estos alumnos el diseño de experiencias era una tarea habitual; pudiera ser que la gran dificultad conceptual de esta parte de la asignatura influyera decisivamente en que no fueran capaces de resolver problemas de este tipo, en donde es necesario lógicamente poner en práctica dichos conocimientos. Esto demostraría, una vez más, la gran relación que existe entre los contenidos conceptuales y los procedimentales.

C.3.3.2 Estudio cuantitativo de los resultados de la prueba inicial de contenidos procedimentales

De la misma manera que se hizo con la prueba inicial de contenidos conceptuales, se cuantificaron (ver Anexo 3.2) y se les aplicaron una serie de estadísticos básicos a los procedimentales, cuyos resultados se recogen en la Tabla 3.11.

En ella podemos distinguir ocho columnas: la primera recoge el ítem de referencia; la segunda, el número de alumnos; la tercera y la cuarta, los valores mínimos y máximos (el intervalo posible era de 0 a 4); la quinta es la media; la sexta, la desviación típica; la séptima el número de casos y la última, el porcentaje correspondiente

En dicha tabla, formada por cinco ítems (cuatro pertenecientes a una prueba específica y uno incluido en la prueba de contenidos conceptuales), se observa que no hay ningún ítem cuyos resultados tengan una media superior a 2, mientras que hay dos de ellos que la tienen inferior a 1.

Si nos fijamos en las frecuencias, encontramos que en dos ítems el número de ceros supera el 50% de los posibles; si incluimos los casos con valores menores que uno, sólo en un ítem se tienen porcentajes inferiores al 50% entre las dos categorías. En ningún caso el número de casos cuatro supera ni el 5%. Son datos suficientemente significativos para considerar que la situación de los conocimientos procedimentales también era insatisfactoria.

Item	N°	Máx	Mín	Media	Des típ.	Frecuencias					Porcentajes (%)				
						0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
1p	51	4	0	1.49	1.15	14	10	16	10	1	27	20	31	20	2
2ap	51	4	0	1.08	1.02	16	22	7	5	1	31	43	14	10	2
2bp	51	4	0	1.22	1.25	21	10	10	8	2	41	20	20	16	4
3p	51	3	0	0.39	0.78	39	5	6	1	0	76	10	12	2	0
7c	51	3	0	0.47	0.70	32	15	3	1	0	63	29	6	2	0

Tabla 3.11

Como hicimos en los conceptuales, vamos a profundizar en las consecuencias didácticas que derivaban para nuestra propuesta.

Respecto al *item 1p* hay que decir que los resultados son los mejores de toda la prueba, aunque no se pueden considerar satisfactorios. Podríamos decir que si bien este tipo de contenidos procedimentales parece que les resulta a los alumnos más asequible que otros. Sería conveniente la aparición frecuente de actividades en las que deban ordenar una serie de datos obtenidos previamente.

Resulta también interesante la interpretación de tablas para lograr que se relacionen las inferencias cualitativa y cuantitativa de la Ciencia. Es fundamental producir paralelamente situaciones (por ejemplo a través de un debate) en las que vayan abandonando la visión parcial del proceder científico y establezcan el mayor número posible de relaciones entre las distintas magnitudes implicadas, expresándolas con el suficiente rigor en el lenguaje.

Por último, resaltar la importancia del error en las medidas reales que puede dificultar el establecimiento de conclusiones coherentes con la ley experimental a la que queremos llegar; no obstante, la costumbre de plantear situaciones con datos exactos lleva a una distorsión de la realidad del trabajo científico que no podemos compartir.

En el *item 2a*, en la que pretendíamos sondear sus conocimientos sobre la elaboración de hipótesis, se obtuvieron unos resultados menos satisfactorios que los del caso anterior. Creemos que sería deseable tener presente la dificultad intrínseca de los conceptos implicados a la hora de plantear este tipo de actividades (que han de ser situaciones próximas al alumno), ya que una excesiva complejidad puede influir negativamente, sobre todo en relación con su motivación.

Respecto a la propia hipótesis, nos parece imprescindible hacer un especial énfasis en el trabajo de identificación, tanto del problema, como de la variable principal, suministrando la ayuda necesaria (sobre todo si no están habituados) para evitar dispersiones y pérdidas de tiempo. En cualquier caso, la emisión de hipótesis requiere de la existencia de un marco teórico sólido, si no queremos que se limiten simplemente a emitir conjeturas con escaso fundamento; un paso intermedio sería introducir constantemente el establecimiento de "pequeñas predicciones" sobre la evolución de situaciones que vayan apareciendo en la propia propuesta.

En el *item 2b*, en el que se les pedía el diseño de una experiencia, los resultados fueron bastante insatisfactorios. Las consecuencias que se pueden extraer se centran en que era necesario lograr que los alumnos asumieran que el diseño es fundamental en el proceder científico, ya que puede influir en las medidas y en la calidad de las mismas; que el rigor en el planteamiento es la clave de su éxito; que su estructura debe ser completa, factible y coherente tanto con la hipótesis propuesta como con las demás fases del método científico pero, sobre todo, que debe ser posible, hecho que no es fácil, unas veces por la imaginación de los alumnos y otras por las dificultades del contenido que estamos abordando.

En el *ítem 3* de esta prueba los resultados fueron prácticamente nulos. Estos rendimientos tan bajos reflejan, según nuestra opinión, la dificultad que tienen cuando se trata de evaluar un proceso completo, en el que intervienen de forma implícita gran cantidad de factores; por ello es necesario, en consonancia con consideraciones anteriores, que se planteen en el aula de una forma frecuente situaciones, en las que como en ésta, haya que realizar su análisis.

Otra consecuencia interesante extraída después de conocer el tipo de respuesta, es la conveniencia de potenciar el uso de justificaciones para cada una de sus afirmaciones, evitando así las opiniones sin más; también consideramos necesario plantear actividades en las que sea posible apreciar la utilidad del aparato matemático y la conexión que tiene con los planteamientos teóricos.

En el *ítem 7c* cuyo objetivo era, como en el 2b, averiguar sus conocimientos sobre el diseño de experiencias, los resultados obtenidos fueron en cambio mucho más bajos que en aquél, lo cual atribuimos a que la onda implicada en este caso no era el sonido, que es con la que los alumnos parecen sentirse más cómodos. De todas formas, las consecuencias que se pueden extraer son las mismas que en el ítem 2b (importancia del diseño, necesidad de coherencia y rigor, precauciones, etc.) aunque de forma más rotunda. Por otro lado, se confirma la creencia de que no se pueden analizar procedimientos desvinculados del ámbito conceptual (o viceversa), puesto que existe una interrelación y dependencia recíprocas.

Antes de completar esta descripción de los resultados obtenidos por nuestros alumnos en la prueba de contenidos procedimentales, nos gustaría incidir en un aspecto que posteriormente tuvo unas repercusiones en el desarrollo del trabajo. En efecto, en el Capítulo II, comentamos que nuestra muestra experimental estaba constituida por tres subgrupos de 2º de FP1: dos de la rama de Electrónica y otro de la de Electricidad. Aunque para todo el tratamiento de datos trabajamos como si fuera un solo grupo, nos pareció conveniente realizar un contraste entre ellos por si hubiera algunas diferencias, estadísticamente significativas.

Pues bien, en el estudio de los ítems de los contenidos conceptuales no se encontraron diferencias en ninguna de las cuestiones planteadas. Sin embargo, no ocurre lo mismo con los procedimentales; en concreto hay diferencias significativas en el ítem 1p (análisis de datos numéricos y establecimiento de conclusiones). Esta heterogeneidad se “diluye” en el conjunto de las pruebas iniciales pero tuvo una mayor repercusión de la prevista, como más adelante veremos.

C.3.3.3 Conclusión de la Subhipótesis Dos (SH1.2)

Después de haber analizado los resultados obtenidos en la prueba inicial de contenidos procedimentales sobre las Ondas en general y sobre el Sonido y la Luz en particular, hemos decidido aceptar como verdadera la Subhipótesis Dos (SH1.2) que decía:

Los conocimientos de los alumnos, respecto a los contenidos procedimentales de las Ondas, al Sonido y la Luz son escasos y poco estructurados.

C.3.4 RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA SH.1.3: PRUEBA INICIAL DE CONTENIDOS ACTITUDINALES

El análisis de los resultados de la prueba inicial de contenidos actitudinales pasa por la descripción de los mismos, a partir de su estudio cuantitativo. Para determinar los datos necesarios para llevarlo a cabo hemos utilizado los instrumentos descritos en el apartado 2.4.1.3 del capítulo anterior. Con el paquete SYSTAT, hemos determinado los estadísticos básicos (media, n° de casos y desviación estándar), que precisamos para nuestros propósitos

C.3.4.1 Descripción y estudio cuantitativo de los resultados de la prueba inicial de contenidos actitudinales

Para analizar los resultados obtenidos en la prueba que sobre contenidos actitudinales (ver Apéndice IV.3) se les pasó a los alumnos en Octubre (al principio del curso escolar), se calcularon primero los estadísticos básicos (media, mediana, máximo, mínimo, rango, desviación típica, frecuencia, porcentajes, etc.). La Tabla 3.12 recoge algunos de los valores obtenidos para cada uno de los 32 ítems de los que constaba la prueba.

Item	Casos	Media	Desv. típ	Tend.	N° 0	N° 1	N°2	N°3	N° 4
1	43	2.65	1.17	+	4	2	9	18	10
2	44	0.82	1.10	-	25	8	5	6	
3	44	2.11	1.35		7	7	13	8	9
4	44	1.89	1.28	-	7	10	15	5	7
5	44	1.20	1.32	-	20	6	10	5	3
6	43	1.60	1.38	-	14	5	13	6	5
7	44	2.95	1.16	+	2	4	6	14	18
8	42	1.55	1.29	-	11	10	13	3	5
9	44	3.27	0.87	+		3	3	17	21
10	44	2.25	1.59	+	11	4	5	11	13
11	42	3.31	1.09	+	2	1	5	8	26
12	44	1.89	1.30		8	10	10	11	5
13	43	2.72	1.22	+	3	4	9	13	14
14	43	2.56	1.24	+	3	4	16	6	14
15	44	2.59	1.32	+	4	5	11	9	15
16	43	1.42	1.16	-	12	11	11	8	1
17	40	2.47	1.40	+	6	4	6	13	11
18	44	3.07	1.04	+	1	4	4	17	18
19	43	1.35	1.31	-	16	8	10	6	3
20	44	1.84	1.48	-	12	7	9	8	8

Tabla 3.12 (continúa)

21	44	1.41	1.44	-	12	12	10	9	1
22	44	2.43	1.37	+	7	3	9	14	11
23	43	1.67	1.29	-	9	12	11	6	5
24	40	2.07	1.25		5	7	15	6	7
25	44	0.95	1.29	-	25	5	8	3	3
26	44	2.36	1.31	+	4	8	12	8	12
27	44	1.18	1.39	-	21	6	10	2	5
28	41	1.88	1.21		8	4	18	7	4
29	44	1.89	1.48		10	10	9	5	10
30	43	1.21	1.35	-	20	6	8	6	3
31	43	2.21	1.39	+	8	4	11	11	9
32	44	2.11	1.47		7	10	11	3	13

Tabla 3.12 (continuación)

En la Tabla aparecen diez columnas; la primera recoge el ítem de referencia de la prueba; la segunda, el número de alumnos que contestaron dicho ítem; la tercera, el valor de la media; la cuarta, la desviación típica; la quinta representa la tendencia global (“+” cuando están de acuerdo con la afirmación y “-” cuando están en desacuerdo); las restantes señala la frecuencia de cada opción (de cero a cuatro).

Las afirmaciones con las que están más de acuerdo (media superior a tres) son los ítems 9, 11 y 18 y con las que están más en desacuerdo (media inferior a uno) son el 2 y el 25. Un análisis de los mismos no permite apreciar una razón clara del por qué de esta situación.

Es difícil hacer una valoración ítem a ítem que no sea reiterativa. Nos parece más oportuno comentar lo que podríamos definir como el perfil más definido del grupo; es decir, considerar sólo las opciones más claramente elegidas. En este sentido, hemos adoptado el criterio de considerar como opinión afirmativa el ítem cuya media se encontraba por encima de 2.5 y como opinión negativa aquél que se encontraba por debajo de 1.5. Los demás valores, es decir los que se encontraban entre 1.5 y 2.5 suponemos que no indican una opción definida.

Como se dijo, había ítems de distinta intencionalidad: los que se referían a actitudes hacia la Ciencia y los que se referían a actitudes hacia los científicos.

a) Parte correspondiente a las actitudes hacia la Ciencia

Consideraban la Ciencia como algo interesante y útil, de tal manera que creían que la sociedad debe aceptarla y alentarla, tanto si quiere resolver sus problemas y mejorar sus condiciones de vida, como si pretende resolver de forma adecuada la problemática del medio ambiente (*ítem 1 -Creo que la Ciencia es el mejor método que podemos usar para abordar los problemas de la sociedad y del medio ambiente- e ítem 9 -Una sociedad debe aceptar y alentar la Ciencia si quiere mejorar sus formas y condiciones de vida*).

Confiaban en la Ciencia, ya que les sorprendía que se demostrara que los hallazgos científicos fueran erróneos, más que por confiar en la forma de trabajo de los científicos (que desconocían), posiblemente porque de forma continua están viendo las aplicaciones de la misma en su entorno inmediato (*ítem 19 -No me sorprendería que se demostrara que los hallazgos científicos eran erróneos-*).

Consideraban que en el mundo de hoy no es posible vivir aislados de la Ciencia, lo cual está motivado a nuestro entender, por la influencia que la ciencia aplicada o la tecnología tienen en sus vidas y en su entorno (*ítem 21 -Puedo vivir aislado de la Ciencia-*).

Parecían considerar deseable que el estudio de la Ciencia se abriera a toda la sociedad sin restricciones, porque creían que el estudio de la Ciencia es una necesidad para los individuos, probablemente por entender que es interesante, o porque su dominio supone cierto poder sobre los demás (*ítem 14 -Creo que el estudio de la Ciencia es una necesidad para los individuos- e ítem 25 -Se debería restringir el estudio de la Ciencia a unos pocos elegidos-*).

Reconocían la influencia que la Ciencia tiene en nuestra visión del mundo, ya que estaban completamente de acuerdo con que el concepto del hombre sobre el Universo ha cambiado como resultado del progreso científico, lo que parece estar en consonancia con que, para ellos, la Ciencia ofrezca mejores soluciones sociales que la Religión (*ítem 5 -Creo que la Religión, comparada con la Ciencia ofrece mejores soluciones sociales- e ítem 11 -Creo que el concepto del hombre sobre el Universo ha cambiado como resultado del progreso científico-*).

Tenían una idea dogmática de la Ciencia, ya que creían que conduce finalmente a la verdad, motivada probablemente por la dificultad intrínseca que le atribuyen a la asimilación del conocimiento científico, que termina convirtiéndolo en inaccesible (*ítem 16 -Creo que el conocimiento científico es fácil de asimilar- e ítem 18 -Creo que la Ciencia conduce finalmente a la verdad-*).

Eran un tanto escépticos respecto a la Ciencia, de manera que confiaban más en sus experiencias personales que en la Ciencia, seguramente porque su contacto con ella se ha limitado al ámbito escolar y, en él, a una relación con la Ciencia meramente teórica sin conexión alguna con la realidad (*ítem 15 -Me fío más de experiencias personales que de la Ciencia-*).

b) Parte correspondiente a las actitudes hacia los científicos

No creían fundamental, para que la Ciencia progrese, que los científicos deban ser exclusivamente las personas más inteligentes, ya que consideraban que cualquier persona de inteligencia media podría ser un buen científico y que, por lo tanto, todo el que lo deseara debería ser alentado para serlo (*ítem 2 -Creo que una persona de inteligencia media nunca podría ser un científico- e ítem 30 -Para que la Ciencia progrese solamente personas muy inteligentes deberían ser alentadas para ser científicos-*).

Confiaban tanto en el trabajo como en la buena intención de los científicos, ya que creían, no sólo que están realmente interesados en resolver los problemas que la sociedad tiene planteados, sino que además se les debería permitir que comprobaran la validez de las creencias e ideas actuales (*ítem 13 -Creo que a los científicos les importa de verdad resolver los problemas de la sociedad- e ítem 17 -Debería permitirse a los científicos que comprobaran la validez de las creencias e ideas actuales-*).

Coincidiendo con anteriores opiniones sobre la Ciencia, en las que demostraban su confianza en ella, consideraban que los científicos de hoy están más cerca de la verdad que los del pasado (*ítem 27 -Dudo que los científicos de hoy estén más cerca de la verdad que los del pasado-*).

Tenían una idea extraña y bastante alejada de la realidad, sobre cuáles son las competencias intelectuales de los científicos, ya que están convencidos de que son personas capaces de retener gran cantidad de datos (*ítem 7 -Me sorprende la capacidad de los científicos para retener tantos datos-*).

No conocían cuál es la forma de proceder ni el trabajo de los científicos, por lo que tenían una idea bastante sesgada de cómo se producen los avances científicos, ya que inexplicablemente creían que porque los científicos critiquen el trabajo de otros colegas, se impide el progreso de la Ciencia (*ítem 22 -Creo que el hecho de que los científicos critiquen el trabajo de otros científicos impide el progreso de la Ciencia-*).

C.3.4.2 Conclusión de la Subhipótesis Tres (SH1.3)

Después de haber analizado los resultados obtenidos en la prueba inicial de contenidos actitudinales sobre la Ciencia en general y sobre los científicos en particular, no parecen claramente definidas las actitudes. Mientras en algunos casos se detecta una visión correcta de la Ciencia y de su importancia, en otros momentos, mantienen creencias como la objetividad, el dogmatismo, la verdad,... para la Ciencia y la manipulación experimental para los científicos. Con algunas cautelas, hemos decidido aceptar como verdadera la Subhipótesis Tres (SH1.3) que decía:

Las actitudes de los alumnos, respecto a la Ciencia en general y a los científicos en particular, pueden considerarse poco favorables para propiciar el aprendizaje de conocimientos científicos.

C.3.5 RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA SH.1.4: ANÁLISIS DE LOS INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN

Aunque las características de una prueba se determinan por el estudio de la fiabilidad, dificultad, discriminación y validez, creemos que no todos estos parámetros tienen demasiado sentido en una prueba inicial. Así, por ejemplo, la dificultad no lo tiene en un tema en el que se van a poner en juego conocimientos sobre los que existen pocos aprendizajes previos. Esto nos llevaría, de aplicar el estudio correspondiente, a una distribución donde predominaran los ítems difíciles o muy difíciles para el alumno, situación bastante lógica antes de comenzar una intervención didáctica.

Tampoco tiene mucho sentido el estudio de la validez desde una perspectiva estadística. La dispersión de ideas o la falta de una estructuración sólida de las mismas, van a condicionar su análisis factorial, lo que nos impide una interpretación aproximada de los factores que aparezcan. Realmente se van a "enrarecer los números" y sólo reiteraremos que, salvo en casos aislados, los alumnos no tienen unas estructuras sólidas que justifiquen las asociaciones.

Por lo tanto, nos limitaremos al estudio de la fiabilidad (en términos de coeficiente de consistencia interna) y de la discriminación entre el grupo de mejor rendimiento y el de peor.

C.3.5.1 Análisis de las características de la prueba inicial

a) Fiabilidad

Entre las diferentes técnicas para el estudio de la fiabilidad estadística que aparecen recogidas en la literatura científica, hemos utilizado la de las mitades. Para el cálculo del coeficiente de consistencia interna, usamos como ítems pares o impares aquellos cuyo cardinal responde a dicha característica; este criterio tiene la suficiente aleatoriedad en este tipo de estudio. Aplicado el mismo, hemos obtenido los valores que aparecen en la Tabla 3.13

Items	Media	σ
<i>Impares</i>	13.02	5.99
<i>Pares</i>	11.53	6.29

Tabla 3.13

El cálculo del coeficiente de consistencia interna (ρ_w) nos exige previamente el ρ_{ip} entre ítems pares e impares. Los resultados obtenidos han sido:

$$\rho_{ip} = 0.77 \Rightarrow \rho_w = 0.87$$

El valor de ρ_w es alto. Aunque en tests de pruebas objetivas este valor es 0.90 o superior, la verdad es que no resulta un nivel estricto, sobre todo cuando estamos hablando de una prueba abierta e inicial, donde la dispersión de respuestas acertadas es más reducida y esto favorece unas menores relaciones estadísticas. Por ello, consideramos que reúne las condiciones que, en este aspecto, son exigibles desde la literatura científica.

b) Análisis de la discriminación

El análisis de la discriminación exige determinar previamente qué alumnos constituyen los subgrupos 27% superior y 27% inferior. En función de los resultados totales de la prueba hemos fijado ambos colectivos según aparece en la Tabla 3.14.

Subgrupo	Clave de los alumnos													
	4	6	7	9	11	12	13	17	18	24	30	34	42	47
27% Superior	4	6	7	9	11	12	13	17	18	24	30	34	42	47
27% Inferior	3	10	16	21	25	28	29	31	36	38	41	48	49	51

Tabla 3.14

Para ver si existen diferencias significativas entre ambos subgrupos (lo que constituye una medida estadística de la discriminación), aplicamos la U de Mann-Whitney item por item. Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 3.15

Item	1p	2p	3p	4p	1	2	3	4	6	7	8	9
U	147	176	186	142	171.5	132	154	112	98	148.5	166	105.5
α	*	*	*	*	*	0.08	*	0.29	1.00	*	*	0.52

Tabla 3.15 (continúa)

Item	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U	170	129	176	181	134	143.5	160.5	131	179.5	155	111
α	*	0.13	*	*	*	*	*	0.08	*	*	0.47

Tabla 3.15 (continuación)

Se puede observar que en 7 items de los 23 se producen diferencias que no pueden considerarse significativas al nivel elegido ($\alpha \leq 0.05$). No obstante, entre los menos discriminadores habría que señalar:

6.- ¿De qué factores depende la intensidad del sonido?

9.- Si se pulsaran dos violines exactamente iguales en el mismo sitio de la cuerda, ¿en qué se diferencian?

20.- (Dibujo de la iluminación de un foco luminoso). ¿Qué zona de la pantalla estará iluminada?

4.- ¿Cuál es la velocidad del sonido en el vacío?. ¿Crees que es superior a la que tiene en el agua?. ¿Por qué?.

Como puede comprobarse, tres corresponden al sonido y el otro a la luz. Coinciden con items de más bajo rendimiento, en los que, al ser éste tan pequeño, complica el establecimiento de diferencias. En cualquier caso, si se realiza el contraste global de las pruebas conceptual y procedimental o el del conjunto de las cuestiones planteadas, obtenemos los valores de la Tabla 3.16

Prueba	Conceptual	Procedimental	Total
U	196	191.5	196
α	*	*	*

Tabla 3.16

C.3.5.2 Conclusiones de la Subhipótesis Cuatro (SH.1.4)

A la vista de los resultados obtenidos en los estudios de fiabilidad y discriminación de la prueba inicial, admitimos la subhipótesis SH.1.4 y señalamos, con los matices indicados en la discusión, que:

Los instrumentos de evaluación utilizados como pruebas iniciales de nuestra investigación reúnen las condiciones exigibles desde la literatura científica en cuanto a la fiabilidad y discriminación.

C.3.6 CONCLUSIÓN DE LA HIPÓTESIS PRINCIPAL UNO (HP.1)

Después de haber analizado los resultados obtenidos en las pruebas iniciales de contenidos conceptuales, procedimentales sobre las Ondas, el Sonido y la Luz, y la de contenidos actitudinales sobre la Ciencia y los científicos vimos que la situación de partida no era satisfactoria. Por otro lado, hemos analizado las características psicométricas de los instrumentos de evaluación utilizados. A la vista de todas las Subhipótesis, aceptamos como verdadera la Hipótesis Principal Uno (HP.1) que decía:

Los conocimientos iniciales de los alumnos, respecto a las Ondas, al Sonido y la Luz, son escasos y poco estructurados.

CAPÍTULO IV

Como ya dijimos, a partir del Capítulo 3, cada capítulo se centra en el análisis y discusión de una de las Hipótesis de la investigación. En este caso, nos ocupamos de la H.P.2. También mantendremos en la exposición la división en subhipótesis que fueron explicitadas en el apartado 1.4 de este trabajo.

Empezaremos describiendo los resultados obtenidos en la valoración realizada de los cuadernos de trabajo de los alumnos; completaremos esta información con los datos aportados en la entrevista que describimos en el Apéndice V.1. Posteriormente, hemos estudiado la homogeneidad de la aplicación de nuestra metodología ya que no podemos olvidar que se ha utilizado con los tres grupos a los que hicimos referencia en el apartado 2.1. Por último, analizaremos las opiniones realizadas por los estudiantes sobre la utilidad del proceso de construcción del conocimiento, a partir de sus respuestas a la entrevista que aparece en el Apéndice V.2.

C.4.1 HIPÓTESIS PRINCIPAL DOS: RESULTADOS DEL SEGUIMIENTO DE LA PROPUESTA EN EL AULA

La Hipótesis Principal Dos (HP2) decía:

La aplicación en el aula de la metodología ensayada favorece una evolución positiva de los conocimientos de los alumnos respecto a las Ondas, al Sonido y la Luz; además es valorada por los estudiantes de forma satisfactoria de cara a sus aprendizajes.

Dicha hipótesis estaba desarrollada en una serie de subhipótesis (SH) que trataban de estructurar el estudio del seguimiento del trabajo de los alumnos, la homogeneidad de la aplicación y la valoración que los estudiantes hacen del proceso de construcción del conocimiento. Para ello, se utilizaron los instrumentos y criterios descritos en los apartados 2.4.2. Las subhipótesis eran:

Subhipótesis Uno (SH. 2.1) : La aplicación en el aula de la metodología ensayada favorece la evolución positiva de los conocimientos, respecto a los contenidos de las Ondas, el Sonido y la Luz.

Subhipótesis Dos (SH. 2.2): Existe una homogeneidad en la aplicación de la metodología ensayada, en el aprendizaje de los contenidos de las Ondas, el Sonido y la Luz.

Subhipótesis Tres (SH. 2.3): La aplicación en el aula de la metodología ensayada es valorada por los estudiantes de forma satisfactoria de cara a sus aprendizajes.

Los resultados de esta HP2 se centran, pues, en la evaluación de dos elementos fundamentales de nuestro planteamiento: sus cuadernos de trabajo y sus opiniones desde dentro del proceso.

C.4.2 RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA SH.2.1: EVALUACIÓN DEL CUADERNO DE TRABAJO DE LOS ALUMNOS

Ya justificamos en su momento la importancia de incluir el seguimiento dentro del propio proceso de construcción del conocimiento. Por ello, como dijimos en los apartados 2.3.1 y 2.4.2.1, nos parece que una de las funciones que puede tener el cuaderno de trabajo es un relato de la evolución de las ideas de los alumnos a lo largo de nuestra intervención. Esto, lógicamente es posible si los estudiantes se implican realmente en el mismo, lo que creemos sinceramente que hemos conseguido.

En nuestro análisis del cuaderno de trabajo, hemos establecido dos niveles, uno más general apoyado en los estadísticos obtenidos (n° de casos, media, varianza, desviación típica, etc.); y otro más específico realizado ítem a ítem. Posteriormente hemos establecido las conclusiones que se derivan de dichos resultados.

Para contribuir al esclarecimiento de nuestros comentarios y teniendo en cuenta que se trataba de un documento escrito por los alumnos sin limitación de tiempo, hemos recogido, en numerosas ocasiones, respuestas textuales de los propios alumnos que a veces eran sumamente esclarecedoras.

Es importante resaltar que debido a la extensión del documento analizado y, por tanto, de los resultados obtenidos, ha sido conveniente dividir el análisis en tres partes: una primera dedicada a las Ondas, otra al Sonido y una última a la Luz.

C.4.2.1 Análisis de los resultados de los cuadernos de trabajo

Como ya hemos explicado detalladamente en apartados anteriores, considerábamos los cuadernos de trabajo de los alumnos como una herramienta fundamental; por ello su evaluación era de mucha importancia para nosotros. Para llevarla a cabo y teniendo en cuenta la cantidad de información de la que disponíamos, fue necesario lógicamente realizar algunos tratamientos estadísticos para la interpretación de los resultados.

A. Parte del módulo referente a las Ondas

La Tabla 4.1 recoge los correspondientes a la primera parte del módulo, que versaba sobre las Ondas en general. Aparecen seis filas que recogen los siguientes valores: la primera indica las actividades de referencia; la segunda, el número de casos; la tercera y la cuarta, los valores mínimos y máximos (estaban calificadas de 0 a 4); la quinta, el valor medio después de la cuantificación; y, por último, la desviación típica.

Act	1	2a	2b	3	4	5	6a	6b	7a	7b	8	9	10	11	12
N°	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
Mx	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Me	1.23	1.88	0.39	1.28	1.30	2.09	1.93	1.91	1.79	2.33	2.74	2.49	0.74	0.75	3.07
σ	0.97	1.69	0.85	1.16	1.21	1.19	1.70	1.60	1.73	1.70	1.72	1.84	0.86	0.87	1.75

Tabla 4.1

En primer lugar habría que decir que tenemos la información completa de todas las actividades realizadas de 43 alumnos, de la muestra de 51. También se aprecia que sólo tres de los ítems (uno referido al tipo de onda al que pertenece el sonido, otro a la velocidad de la onda y el último a la relación entre frecuencia velocidad de propagación de la onda) tienen una media que se encuentra por debajo de 1; y que hay cinco (uno referido a la elaboración de un modelo, tres referidos a cálculos -uno de la longitud de onda, otro de la frecuencia y otro de la velocidad de propagación de la onda- y el último referido a una interpretación global de las características de una onda) que están por encima de 2, situándose el resto, que es la mayoría, entre 1 y 2.

Antes de pasar a describir los resultados de los ítems uno por uno, en los que iremos comentando cuáles han sido las mayores dificultades que han encontrado los alumnos, nos parece oportuno hacer mención previa a la dificultad generalizada (presente en la realización de prácticamente todos los cuadernos de trabajo) que supone para los alumnos tener que expresar sus ideas a través del lenguaje escrito. Si bien es cierto que la mejora en este aspecto fue notable conforme ha ido avanzando el curso, todavía se encontraban muy lejos de hacerlo con fluidez y al mismo nivel que a través del lenguaje oral. Convendría recordar al respecto que se trata de alumnos de clase socio-económica media o media/baja y que era la primera vez que realizaban de forma sistemática una tarea de estas características.

Aunque vamos a comentar todos los ítems, nos centraremos en aquellos que se hayan diferenciado de los resultados intermedios; es decir, los que su media se encuentra por encima de 2.25 o por debajo de 1.25.

La tabla de valores para la actividad 1 (*¿Qué cosas en común tienen todos esos movimientos ondulatorios?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
8	11	15	14	2	1

Esta actividad, al ser la primera de este módulo, presentaba la dificultad añadida para los alumnos de la novedad. Se les pedían las características comunes que tenían una serie de movimientos ondulatorios que se les suministraron; la mayor dificultad estribaba en la carencia de un vocabulario mínimo sobre el tema que pudieran utilizar como medio de comunicación, posiblemente debido a las pocas veces que se han abordado estos contenidos en los niveles anteriores del Sistema Educativo. También se detectó la falta de relación que tenían las Ondas con los temas que habíamos estudiado anteriormente, así como la poca interrelación entre las diferentes partes de las respuestas.

La tabla de valores para la actividad 2a (*¿Cómo clasificarías después de leer la fotocopia, las ondas sobre el agua?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
8	14	7	6	2	14

Esta actividad, en la que se les pedía que clasificaran como transversal o longitudinal una onda concreta (la producida sobre la superficie del agua), tuvo para ellos no sólo la dificultad de interpretar la información que se les había suministrado sobre ambos tipos de ondas, sino también su aplicación en un caso concreto y su justificación posterior. En este tipo de actividades encontramos bastantes problemas, sobre todo cuando se trata de conceptos de una cierta abstracción, ya que las explicaciones además de ser bastante escuetas tienen poca consistencia.

La tabla de valores para la actividad 2b (*¿Cómo clasificarías después de leer la fotocopia, las ondas sonoras?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
8	32	8	1	1	1

Esta actividad, en la que se les pidió lo mismo que en la anterior (pero en el caso concreto del sonido) y de la que creíamos que íbamos a obtener unos resultados similares, los obtuvo en cambio mucho peores, siendo la única con una media por debajo de 1. Ello puede ser atribuible, en nuestra opinión, a un conjunto de factores (algunos de ellos nombrados anteriormente), a la confusión entre perturbación y propagación, y entre dirección de la perturbación y de la propagación. Hay que añadir que se trata de una onda no visible y, por tanto, de una complejidad mucho mayor (sobre todo para ellos) que las incluidas en la actividad anterior.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"El sonido es longitudinal en mayor proporción, pero también es transversal; ejemplo, cuando estás hablando con una persona, esta lo escucha mejor que otra que esté detrás, pero la de atrás también lo escucha porque el sonido se esparce en todas direcciones".

"El sonido es longitudinal con mayor fuerza, pero también es transversal, va en todas direcciones, se oye mejor de frente y se oye menos por los lados".

"El sonido es una mezcla de las dos, transversal y longitudinal. Primero es longitudinal porque su movimiento es en la misma dirección de la perturbación; esa onda longitudinal llega muy bien a las personas o al receptor que está enfrente al altavoz, pero las personas que están en otras direcciones respecto al altavoz también lo captan algo menos que el que está delante de dicho altavoz y es cuando aparece la otra forma de onda, que es la transversal. Pero primordialmente es longitudinal la forma de onda".

"El sonido es un tipo de onda transversal y longitudinal, puesto que se desplaza en todas direcciones".

"Yo creo que el sonido sería como una mezcla de ambas ondas, pues a la vez que la onda se propaga en dirección perpendicular al receptor, también se desplaza en dirección a este", etc.

La tabla de valores para la actividad 3 (*¿En qué se diferencian los movimientos ondulatorios (ondas) de los llamados "movimientos normales"?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
8	15	9	12	6	1

En este caso, en el que los resultados no fueron demasiado satisfactorios, se les demandaba que establecieran las claves de la diferenciación entre los movimientos de los cuerpos y los movimientos ondulatorios, volviendo a aparecer la dificultad del vocabulario. Además, el problema se ve agravado por la concepción tan sesgada que tienen de las ondas y a ello hay que añadir la falta de un practicum adecuado que colabore a facilitar el aprendizaje de un concepto tan abstracto. Las respuestas tienen como defectos principales las pocas diferencias establecidas y la falta de una explicación adecuada, así como la limitación en el análisis de las características de los movimientos.

La tabla de valores para la actividad 4 (*¿Cómo se propagan entonces las ondas?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
8	12	17	6	5	3

Los resultados de esta actividad, en la que se les pedía una justificación sobre cómo se propagaban las ondas, son similares a los de la actividad anterior, esta vez atribuibles en nuestra opinión, a que debajo de ella subyace el concepto de onda y que, por tanto, su realización correcta supondría abandonar el modelo corpuscular al que los alumnos recurren constantemente y que tienen tan arraigado. Se unen aquí, por tanto, el manejo del modelo, siempre tan complejo para ellos, su aplicación al caso concreto de la propagación y la propia dificultad del concepto implicado.

La tabla de valores para la actividad 5 (*Teniendo en cuenta todas las respuestas que se han dado anteriormente, nuestra próxima actividad: será la de establecer un modelo para el movimiento ondulatorio. Como ya vimos en el tema de Electricidad un modelo ayuda a entender mejor lo que está pasando, y debe explicar: como se produce, como se propaga, que es lo que propaga, etc.*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
8	6	6	13	14	4

Aunque los resultados de esta actividad pueden ser estimados como buenos, ya que su media es una de las cinco que está por encima de 2, consideramos que su principal dificultad, detectada en otras unidades didácticas, es la elaboración de algo tan abstracto y complejo para los alumnos como es un modelo, para lo que es necesaria disponer de una visión globalizada del conjunto de fenómenos aparentemente inconexos que la forman. De todas maneras hemos de reconocer que sus modelos poseen una cierta consistencia y que contienen explicaciones adecuadas, dentro de su simplicidad. Nos ocuparemos de este tema específico más adelante.

La tabla de valores para la actividad 6a (*Ahora con una cuerda -que te proporcionará el profesor- producir en vuestro grupo diferentes ondas, ¿son longitudinales o transversales?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
8	14	7	3	6	13

Esta vez tenían que producir una onda con una gruesa cuerda de aproximadamente 3 m y clasificarla (como ya hicieron en la actividad 2) en función del tipo al que pertenecieran, como transversal o como longitudinal. Los resultados obtenidos, aunque levemente superiores, fueron prácticamente los mismos, ya que la única dificultad añadida que se presentaba ahora, la de la propia realización, resultó muy motivadora. Esto se convirtió en una ayuda, como ocurre siempre en las actividades en las que, como en este caso, hay una componente manipulativa tan concreta. Habría que destacar las mejoras producidas en las justificaciones.

La tabla de valores para la actividad 6b (*¿Se le podría aplicar el modelo que hemos establecido para cualquier movimiento ondulatorio?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
8	12	9	4	7	11

En esta actividad se les pedía que aplicaran el modelo elaborado previamente a la onda que habían producido. Los resultados son parecidos a los de la actividad 5 y se pueden considerar satisfactorios; su mayor escollo fue la dificultad que los alumnos tenían para aplicar el modelo a las ondas transversales, ya que veían mucho más evidente que fuera válido en el caso de las longitudinales. No deja de ser paradójico el cambio producido, ya que en un principio dicho tipo de ondas ni siquiera era considerado en sus apreciaciones iniciales.

La tabla de valores para la actividad 7a (*Dejamos la cuerda e intentamos producir ondas en la superficie del agua de la pileta del laboratorio; ¡dibújalas!. ¿Podrías determinar el valor de la amplitud de la onda que has producido en el agua?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
8	19	1	3	10	10

En este caso, cuyos resultados se pueden considerar como parcialmente satisfactorios, se les proponía llevar a cabo el cálculo real de la amplitud de la onda que ellos habían de producir con la cuerda, previo suministro de la necesaria información. Las dificultades se centraron en que habían de interpretar adecuadamente dicha información, separando los conceptos de amplitud y longitud de onda, que tendían a confundir y en que, era necesario hacer un diseño previo para llevarla a cabo, como siempre, con sus propios medios y en el aula.

La tabla de valores para la actividad 7b (*Sabiendo que la longitud de onda -l- se define como la distancia entre dos puntos de la onda que se comportan idénticamente -dos crestas o dos valles-. ¿Podrías determinar el valor de la l que has producido en el agua?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
8	12	3	4	7	17

Los resultados de este segundo apartado, cuya media es una de las cinco que están por encima de 2, son un tanto sorprendentes, ya que aquí se les pidió que llevaran a cabo un cálculo real para determinar la longitud de onda, de la misma forma que en el caso anterior. Teniendo en cuenta que las dificultades de los conceptos eran similares, las diferencias en el rendimiento las atribuimos a que se trataba de una actividad de índole más práctico, a que ya estaba superada la dificultad inicial del diseño y a que, además, habían quedado correctamente establecidas las diferencias entre longitud de onda y amplitud. Habría que resaltar la mejora ostensible en la estrategia seguida y en la forma de expresar el resultado, cuyas unidades eran mucho más correctas.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"Para calcular la longitud de onda hemos puesto un pie en la cresta de una onda y hemos producido una onda y hemos visto cuando una cresta de la onda daba en el pie y luego en el otro y hemos medido la distancia de un pie a otro y nos daba 88 cm (se acompaña de un dibujo)".

"Hemos producido una onda con la misma amplitud y frecuencia; para medir la longitud de dicha onda, hemos tomado como referencia las crestas y cogiendo las medidas entre las puntas de dos crestas, hemos hallado la longitud de dicha onda (se acompaña de un dibujo correcto)".

"Colocamos la cuerda sobre una línea recta pintada con tiza, sacudimos la cuerda y se formará una gráfica de la cual podremos deducir los datos necesarios; esta prueba se repetirá varias veces para afirmar su validez (se acompaña de un dibujo correcto)".

"Vamos a producir ondas y se harán acostadas en el suelo porque así se podrá visualizar mejor a la hora de realizar el trabajo. Se señalará con una tiza en el lugar en el que se produzca la siguiente cresta. Se medirá la distancia que hay entre dichos puntos y se obtendrá la longitud de onda".

"Para calcular la longitud de onda ponemos la cuerda recta en el suelo y sobre el suelo hacemos la onda lateralmente y entonces se para y se queda quieta y entonces podemos medir la longitud de onda (se acompaña de un dibujo correcto)", etc.

La tabla de valores para la actividad 8 (*Sabiendo además que la frecuencia de una onda es el n° de vibraciones ó ciclos en la unidad de tiempo. ¿Podrías calcular la frecuencia de la onda anterior?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
8	10	2	3	2	26

En esta actividad en la que se les pidió otro cálculo real, esta vez para determinar la frecuencia, se obtuvieron unos resultados muy meritorios, con la media más alta de todas (en la parte correspondiente a las Ondas). Nosotros no esperábamos unos resultados tan positivos, debido a la mayor abstracción y complejidad de este concepto respecto a los anteriores y, sobre todo, teniendo en cuenta que muchos de los alumnos indicaron inicialmente la imposibilidad de su cálculo, ¡al ser el tiempo según ellos muy pequeño (1 seg)! Por ello las únicas explicaciones que se nos ocurren, son atribuírselo al gran interés demostrado por los alumnos en este conjunto de actividades y lógicamente a que poco a poco estaban estructurando (identificando y estableciendo relaciones) sus conocimientos sobre las Ondas.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"Cogemos una cuerda y la tenemos en el suelo y entre dos alumnos la cogen de sus extremos, durante 5 segundos hacemos perturbaciones en la cuerda que provoquen ondas, contando las que se hacen en 5 segundos y medimos la distancia de cresta a cresta que es la longitud de onda en movimiento, se va desgastando desde que sale a donde llega (se acompaña de un dibujo correcto)".

"Vamos a producir ondas en un espacio de tiempo, por ejemplo de 10 segundos y se harán en el suelo por los motivos antes indicados (o sea, para visualizarlas mejor). Se cuenta el número de veces que se levanta una cresta en el espacio de tiempo indicado y el resultado se divide entre 10, ya que frecuencia es el número de ciclos producidos en un segundo. Lo que obtienes es el número de ciclos producidos en un segundo, o sea la frecuencia".

"Para calcular la frecuencia del tipo de onda hemos medido 5 segundos y contamos las veces que hacemos la onda y el resultado lo hemos dividido entre 5 para saber las veces que hacemos en 1 segundo".

"Para calcular la frecuencia nosotros lo hemos hecho de la siguiente manera, moviendo la cuerda y contando los movimientos, después estos movimientos se dividen entre el tiempo. También se puede saber el período que es la inversa de la frecuencia".

"Para calcular la frecuencia, durante 5 segundos contábamos las ondas que producían nuestros compañeros y luego el total de ondas las dividíamos entre cinco y nos daba las ondas por segundo. Hicimos varias medidas (se acompaña de un dibujo correcto)", etc.

La tabla de valores para la actividad 9 (*Calcula también la velocidad de propagación de esa onda*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
8	13	3	1	2	24

Nos hallamos esta vez frente a otra actividad que tiene una media superior a 2. Como aquí lo que tenían que determinar era la velocidad de propagación de la onda, consideramos que ha podido contribuir positivamente el hecho de referirse a un concepto ampliamente tratado en unidades didácticas anteriores. Las relaciones entre velocidad, espacio y tiempo son muy "machacadas" en el sistema educativo, pero ello no implica su comprensión por el estudiante en cuanto cambia el contexto donde deben aplicarse. En nuestro caso, no fue así pues creemos que los alumnos de la muestra han ido descubriendo la utilidad de lo que aprendían a medida que un conocimiento ha tenido un mayor número de aplicaciones no contextualizadas. No obstante, se detectaron dudas sobre cuál era la longitud recorrida por la onda, que llegaba a confundirse con la longitud de la cuerda.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"Para medir la velocidad de una onda concreta, medimos la cuerda que es donde se propaga la onda, después producimos unas 3 ó 4 ondas aproximadamente iguales y cronometramos el tiempo que tardan en llegar hasta el otro extremo de cuerda y entonces dividimos la distancia recorrida por la onda por la media de los tiempos de recorrido tomados y nos dará la velocidad".

"Para calcular la velocidad medimos la cuerda y ya tenemos la longitud, y luego medimos el tiempo que tarda en recorrer la onda, la cuerda y luego se divide".

"Vamos a medir la cuerda que tenemos y producimos una onda. Esta se cronometra desde el momento que salen hasta que llega. Y se divide la longitud de la cuerda entre el tiempo que tarda la onda desde que sale hasta que llega y se obtiene la velocidad de propagación".

"Hemos medido la distancia de la cuerda y luego hemos medido con el cronómetro lo que tarda la onda en recorrerla y si sabemos que velocidad = espacio/tiempo, se dividen los datos obtenidos y nos da la velocidad de la onda en m/s".

"Cogeremos la cuerda y entonces calcularemos el espacio que recorre la onda en un tiempo determinado", etc.

La tabla de valores para la actividad 10 (*¿Podríamos variar la velocidad de esa onda?, ¿cómo?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
8	12	21	7	3	

Aún cuando los resultados de este apartado, en el que se les preguntaba si era posible variar de alguna forma la velocidad de propagación de la onda, tienen una media superior a 1, estimamos que no son satisfactorios en base a las grandes dificultades que encontraron los alumnos en su realización. Los bajos rendimientos observados son atribuibles, en primer lugar, a la tendencia a considerar solamente una variable (generalmente la frecuencia) y a olvidarse de todas las demás; en segundo lugar, a la confusión detectada entre ambos conceptos, velocidad y frecuencia, que parecen no estar suficientemente delimitados; y, en tercero, a la gran abstracción de la propia actividad.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"Sí podríamos variar la velocidad de esa onda, aplicando una frecuencia mayor en el momento de producir la onda. Donde se produce la vibración con una determinada frecuencia la onda va

con una determinada v., si aumentamos la fuerza de aplicación a la cuerda la velocidad aumenta".

"Si se mueve la cuerda más rápido la onda tardaría menos tiempo en recorrer el espacio. Si se mueve más despacio tardará más".

"Podemos variar la velocidad de la onda variando la frecuencia, dándole más fuerte a la cuerda".

"Sí podemos variar la velocidad de la onda moviendo la cuerda más rápidamente o menos".

"No podríamos variar la velocidad de esa onda, porque aumentando el movimiento de la cuerda sólo aumentaríamos la frecuencia".

"Sí podríamos variarla, aumentando el número de impulsos consigues una velocidad mayor, si disminuyes lo contrario", etc.

La tabla de valores para la actividad 11 (*¿Existe alguna relación entre la frecuencia de la onda y la velocidad de propagación de dicha onda?. ¡Explícalo!*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
8	9	18	13	3	

Esta actividad tuvo grandes dificultades para los alumnos, ya que en ella debía establecerse la relación existente entre la velocidad de propagación de la onda y su frecuencia, lo que requería, no sólo la aplicación teórica (siempre tan costosa) de sus conocimientos matemáticos a unos conceptos novedosos para ellos, sino la necesidad de llevar a cabo una separación de las variables implicadas. Esta situación de "dientes de sierra" en cuanto a rendimiento nos parece consustancial con el proceso de aprender; podría interpretarse como un mecanismo de acomodación a los nuevos aprendizajes.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos, en las que se puede apreciar que se limitan simplemente a llevar a cabo una afirmación, pero sin dar prácticamente ninguna explicación:

"Sí, porque si aumentamos la frecuencia, la velocidad de propagación sería mayor".

"Si aumenta la frecuencia, el período disminuye y la frecuencia aumenta".

"Si hay relación entre la velocidad y la frecuencia de la onda, si aumentamos la velocidad en que movemos la cuerda, se produce una mayor frecuencia".

"Al aumentar la frecuencia, la onda recorre un mayor espacio en una misma unidad de tiempo".

"Sí, que si la frecuencia aumenta, la velocidad de la onda aumenta y si la frecuencia disminuye, la velocidad de la onda disminuye", etc.

La tabla de valores para la actividad 12 (*Se representa a continuación el esquema de tres ondas que se propagan en el mismo medio. ¿Cuál de las siguientes proposiciones es cierta?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
8	13	8	4	1	17

Esta actividad, que también estaba incluida en las que tenían unos resultados cuya media era superior a 2 intentaba, a través de la interpretación de la gráfica que se les suministró, que aplicaran globalmente los conceptos aprendidos. Las dificultades de la misma estriban en las propias de cualquier gráfica, aunque el mismo enunciado de la actividad supuso una pequeña complicación, al no estar claramente determinado si en las tres se estaba considerando el mismo tiempo. Los buenos resultados tienen más valor si consideramos que los conocimientos matemáticos de los alumnos no eran precisamente los más deseables y, en este tipo de actividades, hemos tenido algunos problemas en otras unidades didácticas desarrolladas en el curso.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"La respuesta correcta es la D porque no nos dicen el tiempo que tardan las ondas en recorrer ese espacio, por lo que no se podría calcular la frecuencia de dichas ondas que es lo que nos dice en el tercer apartado de la D".

"La respuesta buena sería la D, ya que no nos dicen el tiempo que tardan las ondas y no se podría calcular la frecuencia. Y en cuanto a los demás datos de la D, son ciertos, ya que los hemos comprobado y comparado con los demás apartados".

"La respuesta correcta es la D. Mayor longitud de onda está claro que es la nº1 ya que tiene una longitud mayor desde donde empieza la onda, hasta donde termina. Mayor Amplitud, es la nº2, ya que sus crestas están a más altura que las demás ondas. Mayor frecuencia no está tan claro, porque no se sabe en que unidades de tiempo están las tres clases de ondas".

"La cierta es la D. Mayor longitud de onda la 1. Mayor amplitud la 2. Mayor frecuencia no puede saberse con los datos anteriores", etc.

B. Parte del módulo referente al Sonido

Continuando con la descripción de los resultados del cuaderno de trabajo de los alumnos, pasamos ahora a analizar la parte del módulo correspondiente al Sonido, cuyos valores quedan recogidos a continuación en la Tabla 4.2. Aparecen seis filas: la primera indica las actividades de referencia; la segunda, el número de casos; la tercera y la cuarta, los valores mínimos y máximos (estaban calificadas de 0 a 4); la quinta, el valor medio después de la cuantificación; y, por último, la desviación típica.

Act	1	2a	2b	3	4	5	6	7a	7b	8	9	10	11a	11b	12
Nº	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
Mx	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Me	1.77	1.95	0.68	1.57	1.27	2.13	2.23	1.93	1.41	1.95	1.64	1.41	2.52	2.48	2.68
σ	0.91	1.06	0.93	0.82	1.13	1.27	1.07	1.15	1.39	1.24	0.97	1.00	1.07	1.09	1.22

Tabla 4.2

En ella se aprecia que tenemos la información completa de 44 alumnos de una muestra de 51. También se detecta que sólo en una de ellas (referida al diseño de una experiencia) la media ha sido inferior a 1 y que hay cinco apartados (uno referido a la propagación del sonido, otro referido a un diseño de experiencia y tres respecto a cálculos relacionados con el eco) en los que es superior a 2. Se aprecia también que los resultados en esta parte han sido más

homogéneos que en la anterior, probablemente porque el efecto distorsionador que constituía la novedad del tema iba desapareciendo.

Como hicimos anteriormente vamos a describir los resultados de los ítems uno por uno, e iremos comentando cuáles han sido las mayores dificultades que han encontrado los alumnos. Haremos especial hincapié igualmente en aquellos cuyos resultados se hayan diferenciado de forma más clara de los resultados intermedios, manteniendo los mismos criterios que en el apartado anterior, es decir, centraremos nuestra atención en aquellos ítems cuya media se encuentra por encima de 2.25 y por debajo de 1.25. En algunas de estas actividades, como ya hicimos, recogeremos textualmente algunas de las respuestas más significativas de los alumnos.

La tabla de valores para la actividad 1 (*¿Es el sonido un movimiento ondulatorio?. ¿Cómo lo podríamos demostrar?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
7	3	14	18	8	1

En esta actividad el trabajo de los alumnos consistía en determinar y demostrar si el Sonido era un movimiento ondulatorio. Si la dividimos en dos partes, nos encontramos que las mayores pegas están en la segunda de ellas. Prácticamente todos los alumnos identifican el sonido como una onda pero, en la mayoría de los casos, encontraban muchas dificultades para poder demostrarlo, probablemente porque se trata de una onda no visible que añade nuevas dificultades a las propias del diseño. Pero otro motivo fue que el modelo corpuscular estaba aún muy arraigado. Hay que decir de todas formas que, en muchas de las respuestas, se establecieron relaciones entre lo estudiado previamente en las Ondas y el Sonido.

La tabla de valores para la actividad 2a (*¿Qué tiene que ocurrir para que se produzca un sonido?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
7	4	9	20	7	4

En este caso, en el que se les pedía que dijeran lo que tenía que ocurrir para que se produjera un sonido, los resultados fueron un poco mejores que en la actividad anterior, al tratarse de una cuestión más concreta y cercana a su vida cotidiana. No olvidemos tampoco que se refería además a lo que ellos consideran la onda por excelencia: el Sonido. No obstante, se apreciaron dificultades provenientes de la imposibilidad de observar la vibración de algunos objetos cuando producen sonidos.

La tabla de valores para la actividad 2b (*Diseña una experiencia para comprobarlo*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
7	24	13	5	1	1

Esta actividad era una continuación de la anterior y, sin embargo, obtuvo los peores resultados de la parte correspondiente al sonido. Consistía en diseñar una experiencia para comprobar la veracidad de las afirmaciones realizadas en 2a. Aunque demandaba algo más concreto, volvemos a detectar de forma ampliada las mismas dificultades que nos habíamos encontrado: las propias de los diseños, cuando se trata de algo que no es apreciable a simple vista, agravadas por la confusión existente entre sonido, emisor y receptor. Todo ello hacía que las contestaciones no tuvieran la suficiente coherencia entre su afirmación y la explicación correspondiente, que se

echaran en falta ejemplos y una mayor extensión en las justificaciones. Como aspecto positivo habría que destacar la creatividad de las aportaciones.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos, en las que se observa que la mayoría de ellas se limitan a poner ejemplos:

"Por ejemplo para que un altavoz produzca sonido se la hace vibrar con un imán y una bobina. Cuando una pieza de una moto va suelta, al coger velocidad empieza a vibrar y produce un sonido. Cuando hablamos hacemos vibrar las cuerdas vocales".

"Ejemplo la guitarra. En la guitarra hay una vibración en las cuerdas y que éstas vibraciones producen la música o sonido de la guitarra. Y que para que se produzca tiene que vibrar".

"Golpeando una mesa con un bolígrafo se produce un sonido, choque, golpe, vibración".

"Ponemos un reloj dentro de una campana y como entonces al no haber aire ni moléculas para transmitirse, las ondas sonoras no se oirán; después se sacaría fuera y podríamos oirlo, pero conforme nos alejemos se oirá menos porque esa onda sonora se desgastaría, no hay desplazamiento de materia porque el sonido es una onda".

"Colocamos una radio en el campo con diferentes obstáculos (árboles, montes, casas). Se coloca una persona a 500 metros a la redonda. Si las personas lo captan será que aunque pueden haber obstáculos las ondas llegan sin distorsionar".

"Para la experiencia se necesita 1 platillo sonoro de músico y 1 maza especializada para tocar el platillo. Se coge la maza y se golpea el platillo, éste vibra y produce muchas ondas sonoras motivo por el que se oye el sonido", etc.

La tabla de valores para la actividad 3 (*¿Todos los sonidos son iguales?. ¿En qué se diferencian?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
7	3	19	16	6	

Correspondía en este caso establecer si todos los sonidos eran iguales, lo que para los alumnos resultó relativamente sencillo de realizar, al tratarse de algo muy relacionado con su vida diaria. No obstante, hay que decir que, en la mayoría de los casos, las respuestas se centraban exclusivamente en que los sonidos podían ser diferentes en función de ser más fuertes o más flojos y más graves o más agudos, pero sin hacer mención al timbre del sonido, que es la menos evidente de sus cualidades.

La tabla de valores para la actividad 4 (*¿A qué podríamos atribuir científicamente las diferencias que hemos observado en los sonidos?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
7	13	14	11	4	2

Esta actividad, intentaba que relacionaran las cualidades del sonido con las magnitudes características de las ondas. Tuvo grandes dificultades porque, aunque para los alumnos es menos complicada la identificación del volumen como amplitud que la del tono como frecuencia, obtuvo unos resultados inferiores a los del caso anterior. Desde nuestro punto de vista es bastante lógico, porque la correcta realización de la actividad hubiera requerido una

capacidad de transferencia de lo concreto a lo abstracto bastante grande y una identificación adecuada de las magnitudes ondulatorias y su diferenciación, que nuestros alumnos no parecían poseer en esos momentos.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"Los sonidos graves son los sonidos de frecuencias bajas. Los sonidos agudos son los de frecuencias altas. Los sonidos altos son los que tienen una amplitud alta. Y los bajos de amplitud baja. Lo grave o agudo de una voz, depende de la frecuencia de ésta. Lo mismo pasa con lo fuerte o flojo de la voz, pero dependiendo de la amplitud. Pueden existir, agudos fuertes y flojos, como graves flojos y fuertes. Ya más aparte está el timbre de la voz, que es independiente de lo dicho anteriormente".

"A los movimientos ondulatorios, ya que hemos visto que el sonido cumple muchas de las características de estos. Por ejemplo: Se producen mediante una vibración, se propagan en todas direcciones, no interfieren al cruzarse, etc."

"Cuando una persona habla normal y luego habla más fuerte se produce un aumento de la longitud de onda (añade un dibujo aclaratorio)".

"A la amplitud de la onda, el que sea más fuerte o más flojo, a más amplitud más fuerte. A la frecuencia, amplitud y longitud de onda el que sea más grave o agudo, a más frecuencia más agudo".

"A que cuando se produce una onda de sonido, tiene que hacerse que vibre algo, chocando algo contra él, éste vibra y produce onda de sonido. Cuando impactamos el objeto B contra el objeto A (añade un dibujo explicativo) sale un sonido, lógicamente si le damos más fuerte el sonido o ruido saldrá más fuerte", etc.

La tabla de valores para la actividad 5 (*A la vista de todo lo anterior; ¿podrías explicar como se propaga el sonido?. ¡Acuérdate del modelo que establecimos para los movimientos ondulatorios!*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
7	5	10	10	12	7

En esta ocasión, los resultados se pueden considerar plenamente satisfactorios (media superior a 2). Tratábamos de buscar una justificación a la propagación del sonido y, aunque al principio fuera necesaria nuestra ayuda, los alumnos fueron capaces de establecer rápidamente la relación con el modelo que habíamos elaborado para las Ondas, en la primera parte del módulo. No obstante, encontramos algún problema con el vacío, del que tenían una concepción diferente a la científica. El rendimiento de esta pregunta, en comparación con los de anteriores actividades, parece indicar el abandono paulatino por parte de los alumnos del modelo corpuscular y la utilización cada vez más frecuente del ondulatorio, que era lógicamente uno de nuestros objetivos fundamentales. Se podía apreciar, además, en las contestaciones la presencia de ejemplos, dibujos, etc. que indicaban una cierta fluidez en la utilización del modelo.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"Pepe ha pensado que en el vacío iría más rápido que al no haber nada, no hay resistencia al paso del sonido, pero creemos que no es así ya que lo que necesita el sonido es poder transportarse a través de algo y en el vacío no hay nada. Así que creemos que si el medio donde se produce tiene las moléculas más juntas unas de otras, el transporte del sonido es más fácil que si las moléculas estuvieran más lejos unas de otras. Conclusiones: el sonido necesita partículas para desplazarse; el sonido no se desplaza en el vacío; cuanto más cerca están las partículas, más rápido se propaga el sonido".

"El hombre forma el sonido debido a las perturbaciones que hace el hombre con las cuerdas vocales. Esta perturbación se transmite por el medio a través de las moléculas de aire. Las moléculas vibran y pasan la perturbación en forma de energía. Estas se atenúan según vayan rozándose y pasando el tiempo, ya que van perdiendo energía. El sonido se transmite mejor por medios de moléculas juntas, que por medios de moléculas más separadas; por eso, el sonido se desplaza mejor por la tierra que por el aire. Al estar más juntas, no necesitan tanta energía como en medios de moléculas más separadas que necesitan mover la molécula siguiente que está muy separada (añade unos dibujos explicativos sobre la propagación del sonido en el aire y el agua, relacionándolo con las prácticas que hemos hecho en clase)".

"Sabemos que el sonido se propaga en todos los medios y con movimientos ondulatorios, y que la velocidad del sonido se propaga a 340 m/s. Pero que de todos estos medios en el que mejor se propaga es por la tierra, como el ejemplo del tren, ya que cuando viene pegamos la oreja a un rail y mediante las vibraciones, oímos un pequeño ruido y sabemos que viene el tren, sin embargo en el aire no oíríamos nada, y si hubiese un lago al lado de la vía tampoco. También sabemos que en el vacío no se propagarían las ondas, ya que al no haber materia, las ondas no se podrían asociar, (con la materia). Pero no sabemos muy bien porque se propaga mejor el sonido por la tierra, aunque creemos que es porque hay mayor número de partículas juntas, entonces el sonido se propaga mejor que en el aire ya que en éste las partículas están más repartidas y el sonido se propagaría con mayor dificultad".

"El sonido se propaga a través de las partículas de la materia en la que se produce. Para ello depende de la cantidad de partículas que tenga su materia, o sea, depende de su densidad, cuando sea más denso se oíría más fuerte, cuando sea menos denso se oíría más débil. El sonido se propaga a más velocidad por tierra porque en la tierra hay más partículas juntas y las ondas se transmiten más rápidas".

"Una de las hipótesis que teníamos es que en el vacío el sonido iría más rápido, pero eso es falso porque en el vacío no hay materia y el sonido se propaga por la materia y cuanto más materia haya más rápido irá el sonido. Por eso en la tierra se propaga más rápido que en el aire".

"Se propaga a través de las partículas de la materia sin desplazarlas, se propagan por cualquier materia y mejor por la materias en las cuales las partículas estén más juntas, como en el caso de los sólidos, en cambio en otras con las partículas más separadas se necesita más fuerza para que la onda se propague. El modelo puede seguir siendo el mismo, el de las bolas, las bolas serían las partículas de la materia y en este caso estarían muy juntas y en este otro más separadas, con lo que se necesita mayor fuerza para que la onda llegue a la última bola (se refiere a dos dibujos aclaratorios que ha llevado a cabo)", etc.

La tabla de valores para la actividad 6 (*¿A qué velocidad se propaga el sonido en el aire?. ¡Diseña una experiencia -real- para determinarla!*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
7	5	3	16	17	3

Esta actividad también obtuvo unos buenos resultados, con una media superior a la del caso anterior, requería el diseño de una experiencia para comprobar la velocidad de la luz. La explicación a este buen rendimiento se la atribuimos al hecho de tratarse de un concepto (la velocidad) previamente trabajado con profusión; esto ha servido para relacionar un ámbito del conocimiento en el que no se mueven con soltura, con el movimiento, en el que ocurre todo lo contrario. Además, para este diseño, era necesaria la utilización de elementos como petardos, rayos o cohetes, que tanto les gustan a los alumnos. Se apreciaba en los diseños una consistencia muy interesante ya que incluían, en muchos casos, soluciones ingeniosas, explicaciones adecuadas, medios a su alcance e, incluso, la repetición de las medidas a realizar para evitar posibles errores.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"El sonido se desplaza en el aire a 340 m/sg. La experiencia consiste que hay una fiesta en Las Pullas City. El pueblo está a 3 Km de donde yo me encuentro. Yo tengo a mi disposición un cronómetro y sé la distancia a la que estoy del pueblo. Cuando en esa fiesta lancen un cohete y explusione, yo pondré el cronómetro en marcha (Yo sabré cuando explota, ya que se ve la luz de la explosión, y la velocidad de la luz es casi instantánea). Pararé el cronómetro cuando oiga el sonido de la explosión. El tiempo que tarde lo dividiré entre la distancia (añade un dibujo aclaratorio)".

"Por ejemplo, cuando vemos la luz de un relámpago, rápidamente le damos al cronómetro y esperamos a que es sonido de éste nos llegue al oído para pararlo. Luego calculamos más o menos la distancia de donde se ha encendido la luz del relámpago hasta nosotros, y dividiendo la distancia del relámpago hasta nosotros, entre el tiempo que hemos calculado según el cronómetro, nos da la velocidad del sonido aproximadamente".

"Poniendo una sirena potente a 680 m con un mando a distancia. (Yo me pongo a 680 m de la sirena). Luego le damos al botón y medimos el tiempo que ha transcurrido el sonido en llegar a mi oído. $v=e/t=680/2=340$ m/s (añade un dibujo aclaratorio)".

"340 m/sg. Dos personas, uno en una ciudad y otra en otra ciudad, (sabiendo la distancia entre las dos ciudades) uno lanza un cohete y el otro con un cronómetro desde que ve la luz hasta que lo oye, es el tiempo que tarda el sonido".

"A 340 m/sg en el aire; dependiendo del material por el que se propague tendrá una velocidad. Colocamos una sirena a una gran distancia para evitar errores de medida y sincronizando los relojes con un ayudante, éste que haga sonar la sirena cuando se haya acordado al mismo tiempo que el otro, sin oír la sirena todavía empieza a cronometrar y para cuando se oiga y teniendo el tiempo y el espacio lo calculamos con la fórmula de la velocidad: $v=e/t$ ", etc.

La tabla de valores para la actividad 7a (*¿Se propaga el sonido con la misma velocidad en cualquier medio?. ¿En cuál más y en cuál menos?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
7	5	10	17	7	5

En esta actividad, algunos no consideraban la influencia del medio en la velocidad del sonido que estimaban siempre como 340 m/s pero, en la mayoría de los casos, sí la reconocían, considerando que debía ser diferente. Las respuestas indicaban que todavía les costaba asumir que en un medio sólido la velocidad sea mayor que en el aire, lo que parece indicar (en casos aislados) reminiscencias del modelo corpuscular. Se apreciaba también poca relación con los conceptos que ya habíamos trabajado anteriormente.

La tabla de valores para la actividad 7b (*¿Diseña una experiencia para comprobarlo!*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
7	18	5	9	9	3

Aquí, debían diseñar una experiencia para comprobar las afirmaciones vertidas en el apartado anterior y los resultados fueron claramente inferiores. Por ello y teniendo en cuenta que en actividades similares el rendimiento

obtenido había sido superior, creemos que las causas no son atribuibles al propio diseño, sino a la falta de relación que se aprecia en los alumnos entre todas las variables de la propagación y que les hace diferenciar, por ejemplo, entre que el sonido se propague mejor y que lo haga a mayor velocidad. Además, pensamos que la concepción poco correcta que poseen sobre la estructura de la materia contribuye a dificultar la tarea, ya que no son capaces, por ejemplo, de establecer claramente las diferencias existentes, desde el punto de vista científico, entre un sólido y un líquido o entre un líquido y un gas.

La tabla de valores para la actividad 8 (*¿Qué le ocurrirá entonces al sonido cuando choque con un objeto?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
7	3	17	11	5	8

La actividad que nos ocupa ahora se centraba en qué le ocurría al Sonido al chocar con un objeto. Aunque no tenía una media superior a 2, podemos considerar que tuvo un rendimiento satisfactorio. En nuestra opinión puede atribuirse a que se trataba de explicar algo concreto como es un choque y para la que disponían de unos conocimientos previos, fruto del trabajo realizado anteriormente. A pesar de todo, la falta de vocabulario adecuado (no conocían por ejemplo la refracción) y la no consideración de la propagación del sonido en los obstáculos, dificultaron la tarea.

La tabla de valores para la actividad 9 (*Seguro que alguna vez, has tenido ocasión de escuchar un fenómeno sonoro muy conocido: EL ECO. ¿Que explicación le podríamos dar a este fenómeno?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
7	6	11	22	3	2

En este caso, en que la tarea de los alumnos consistía en darle una explicación científica al fenómeno del eco, los resultados que se obtuvieron son intermedios. Se observó que las mayores dificultades estaban en la identificación errónea entre los conceptos de eco y reflexión, de tal manera que habría eco siempre que se produjera una reflexión; otra posible causa era la de considerar la reverberación también como eco, aunque de otro tipo, algo así como un "eco doméstico".

La tabla de valores para la actividad 10 (*¿Por qué no se produce siempre eco?; ¿qué condiciones han de darse para que se produzca?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
7	7	19	13	3	2

En esta actividad, se obtuvieron unos resultados del mismo rango que los de la actividad anterior. Debían establecer las condiciones que son necesarias para que haya eco y se dieron una serie de circunstancias que a nuestro entender dificultaron su correcto desarrollo. En primer lugar, desconocían el dato de que es necesario que transcurran 0,1 s para que el oído humano pueda distinguir dos sonidos entre sí y, en segundo y más importante, era necesaria una reflexión teórica sobre lo que le ocurre al Sonido cuando interacciona con la materia; eso es algo que les cuesta mucho a los alumnos, sobre todo en casos en los que no es posible observar la onda, como le ocurre al sonido. En las respuestas era posible apreciar la consideración que tenían sobre el eco, en la que incluían todas las distorsiones sonoras fruto de la reflexión.

La tabla de valores para la actividad 11a (*Sabiendo que el oído humano no puede distinguir entre dos sonidos, que no estén separados al menos por 0,1 s. ¿Cual será la distancia mínima en el aire, para que se produzca el eco?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
7	3	4	10	21	6

En este apartado se obtuvieron uno de los mejores resultados de esta parte del módulo, con una media superior a 2. Planteaba el cálculo de la distancia mínima (en el aire) para que ese eco se pudiera producir. No les planteó muchas dificultades a los alumnos ya que una vez que se habían establecido las bases teóricas que era lo dificultoso, el resto fue mucho más sencillo. Se detectó, no obstante, la confusión entre espacio recorrido por la onda y distancia de separación entre el emisor y el receptor, que dificultó el trabajo y llevó a muchos de ellos a determinar la distancia mínima como de 34 m, en vez de 17 m.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"Sabemos que el oído humano en 0,1 seg no puede conocer dos sonidos diferentes. La velocidad del aire es de 340 m/s. Con una regla de tres se calcularían los metros que recorre un sonido en 0,1 seg ($v=340 \times 0,1/1=34$ m en 0,1 seg). Como para escuchar el eco el sonido recorre 2 veces el mismo camino ida y vuelta entonces la distancia mínima será $34/2=17$ m".

"Si sabemos que la velocidad del sonido en el aire es de 340 m/s y el oído necesita 0,1 seg. Para identificar el sonido pues la distancia menor será de $34 \text{ m}/2=17$ m".

"17 m, porque si en un segundo el sonido en el aire recorre 340 m, en una décima recorrerá 34 m puesto que eso está en proporción y como el eco va y viene hay que colocarse a la mitad de la distancia que recorre en 0,1 seg".

"17 metros, debido a que si en 1 segundo el sonido recorre 340 m en una décima recorrerá 34 m, con lo que habría que colocarse a 17 metros para que la onda recorra 34 metros y pase una décima de segundo hasta que el sonido rebotado me llegue otra vez y lo pueda distinguir (se acompaña de un dibujo aclaratorio)".

"Para que se produzca eco tiene que haber una distancia comprendida entre la persona que emite el sonido y la pared en que rebota el sonido ($e=340 \times 0,1/1=34$ m). 34 m es la distancia en la cual se tiene que estar separada la persona de la pared, pero como tiene que ser la distancia mínima sería la mitad, o sea que si se hace con la mitad de 0,1 sería 0,05 y saldría en la ecuación 17 m (se acompaña de un dibujo aclaratorio)", etc.

La tabla de valores para la actividad 11b (*¿Y para que se produzca en el agua?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
7	3	14	18	8	1

Esta actividad era una variación de la anterior y, por tanto, sus resultados aunque levemente inferiores es lógico que fueran similares; lo único que cambia es que se trataba de un medio (el agua) al que los alumnos no están tan habituados como el aire. De todas formas, habría que destacar que todavía, en algunas ocasiones, les seguía sorprendiendo que en el agua la distancia necesaria para que se produjera el eco fuera mayor, ya que unos cuantos seguían convencidos de que habría de ser al revés. Esto demuestra la dificultad de erradicar las ideas previas de los alumnos, tan profusamente comentado por la literatura científica, incluso frente a resultados matemáticos que ellos mismos han realizado.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"En el caso del eco en el agua será igual que en el aire. La velocidad del sonido en el agua es de 1.500 m/seg ($v=1500 \times 0,1/1 = 150$ m en 0,1 seg). Como he explicado en el caso anterior, esta distancia se dividirá entre dos ($150/2 = 75$ m)".

"Velocidad del sonido en el agua = 1500 m/s. En una décima $1500/10 = 150$ m/dseg entonces para poder distinguir el sonido y que tarde 0,1 seg en volver habría que colocarse a 75 metros, 75 ida y 75 vuelta = 150 m en una décima de segundo".

"Para que se produzca eco en el agua hay que colocarse más lejos, a 75 m ($e = 1500 \times 0,1/1 = 150$ m ida y vuelta). Si el sonido tarda en ir 0,05 seg, la vuelta tiene otros 0,05, se sumarían los tiempos y tardaría en ir y venir 0,1 seg en que se podría diferenciar el eco".

"Nos tendríamos que colocar más lejos que en el aire, para escuchar el eco, porque la propagación del sonido en el agua es mayor que en el aire ($e = 1500 \times 0,1/1 = 150$ mtrs)", etc.

La tabla de valores para la actividad 12 (Calcula la distancia que hay hasta la montaña, si el eco tarda en llegar hasta nosotros 0,5 s) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
7	5		11	16	12

Esta vez, el trabajo consistía en calcular la distancia a la que se encuentra una montaña, disponiendo del tiempo que tarda en llegar a nuestros oídos el sonido. Los resultados fueron los mejores de la parte de Sonido, con una media superior a 2 (2.682), por lo que deducimos que para los alumnos fue sumamente sencilla su realización; probablemente por tratarse simplemente de aplicar una fórmula conocida que habíamos discutido previamente desde el punto de vista teórico durante mucho tiempo. Nos gustaría resaltar la forma de expresión a estas alturas del módulo para respaldar la validez de los datos que estamos utilizando en nuestro análisis.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"Calculamos la distancia de ida y vuelta de la onda, dividiendo entre dos la velocidad de la onda en el aire ($340/2 = 170$ mts). Para averiguar la distancia directa, se divide entre dos la distancia anterior ($170/2 = 85$). Nosotros deberemos estar a 85 mts de la montaña".

"Este ejercicio también se puede realizar con una regla de 3. Si en 1 segundo el eco tardaría en llegar 170 m de ida y 170 m de vuelta, ¿cuántos tardaría en 0,5 seg? ($e = 340 \times 0,5/1 = 170$ m en 0,5 seg). Como esto sería el total de metros recorridos por el sonido contando la ida y la vuelta se dividirá entre 2 ($170/2 = 85$ m de distancia de la montaña)".

"Si ha tardado 0,5 seg quiere decir que ha recorrido 170 m, pero como el sonido va y viene quiere decir que entre nosotros y la montaña hay 85 m".

"Tardará 0,5 seg el sonido en llegar. 17 m de distancia mínima que tarda en 0,1 seg x 5 décimas de seg. Estaremos a una distancia de 85 metros. Explicación: Suponemos que hay la misma distancia a la ida que a la vuelta y la velocidad es la misma, por lo que 85 m es la distancia de colocación de la persona que escucha el eco. ¡Ojo!, por debajo de 17 metros se producirá una reverberación; a partir de 17 metros se oirá el eco".

"La distancia será de 85 m más los 85 m de vuelta son los 170 m ($340 \times 0,5/1 = 170$ m) que son necesarios para poder distinguirlo", etc.

C. Parte del módulo referente a la Luz

Por último vamos a comentar los resultados de las actividades de los cuadernos de trabajo correspondientes a la parte del módulo que hacía referencia específica al tópico de la Luz, cuya valores aparecen a continuación en la Tabla 4.3. Aparecen seis filas: la primera indica las actividades de referencia; la segunda, el número de casos; la tercera y la cuarta, los valores mínimos y máximos (estaban calificadas de 0 a 4); la quinta, el valor medio después de la cuantificación; y, por último, la desviación típica.

Act	1	2	3	4	6	7	8	9
Nº	45	45	45	45	45	45	45	45
Mx	3	4	4	4	4	4	4	4
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0
Me	1.16	1.42	1.38	1.60	1.40	1.78	1.89	1.27
σ	0.95	1.10	1.15	1.12	0.99	1.00	1.25	1.12

Tabla 4.3

Se observa que disponemos de la información completa de las actividades de 45 alumnos. También es posible apreciar que en esta ocasión los resultados son menos satisfactorios, ninguna de las actividades alcanzó una media de 2, aunque tampoco ninguna la tenía por debajo de 1. Puede ser debido, por un lado, a la propia complejidad de esta parte del módulo y, por otra, a que los alumnos ya habían adquirido una cierta soltura con respecto a la terminología de este ámbito del conocimiento, que hizo que los resultados sin ser brillantes fueran muy homogéneos.

Pasamos a continuación a comentar una por una las actividades, para lo que, como en los casos anteriores, haremos hincapié en aquellas que se encuentran más alejadas de los valores centrales.

La tabla de valores para la actividad 1 (*¿Pero estáis seguros de que la luz es una onda?, ¿Como lo podríamos comprobar?. Esta pregunta es muy complicada, y seguramente vais a necesitar ayuda; por ello os voy a proporcionar un texto en el que dos científicos muy prestigiosos discuten precisamente sobre este asunto. Una vez leído intenta responder de nuevo a la pregunta*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
6	14	13	15	3	

Esta actividad, en la que se les preguntaba sobre la naturaleza de la luz, obtuvo los resultados más bajos de esta parte, lo que es perfectamente lógico, ya que se trataba de una cuestión sumamente compleja y difícil para unos alumnos que, como los de la muestra, tenían unas edades que rondaban los 15 años. Nuestro objetivo cuando la planteamos era precisamente que tomaran contacto con la dificultad intrínseca que tiene la naturaleza de la luz y no, por supuesto, que llegaran a responderla correctamente. Piénsese que uno de los interrogantes centrales de esta parte del módulo es la dicotomía onda-corpúsculo como se indicó en el Capítulo II, cuando describimos la variable independiente.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"Sí, la luz es una onda porque cumple todas las normas de las ondas, que no transporta materia, necesita un emisor, que se atenúan, que está en movimiento..."

"No lo se cierto si es una onda porque cumple pocas características de una onda. Por ejemplo no transporta materia sino energía, prueba de ello es el aprovechamiento de la energía solar".

"Yo creo que la luz sí es una onda, lo podemos comprobar de la siguiente manera: en una habitación llena de polvo, pero esta habitación está a oscuras, de repente encendemos una luz, la habitación es larga y veremos como se propaga la luz por esas moléculas de polvo y si la habitación es muy larga y tenemos buena vista veremos pasar la luz muy rápido".

"No estamos seguros, porque algunas de sus cualidades son las de un cuerpo y otras las de una onda. Se podría saber comprobando las siguientes hipótesis: La luz no hace vibrar a los objetos, la luz se propaga en el vacío, la luz no traspasa objetos opacos. Comprobaríamos que son ciertos y estaríamos en el mismo sitio ¿Cuerpo u onda?".

"La luz tiene diversas cosas en su contra que demuestran que no es una onda; una de ellas es que se propaga en el vacío, en cambio las ondas no, y otra es que la luz se propaga en línea recta y las ondas en todas direcciones", etc.

La tabla de valores para la actividad 2 (*¿Basta la luz para ver?. Explicalo detalladamente, poniendo todos los ejemplos que consideres oportunos*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
6	14	13	15	3	

Una de las mayores dificultades que hemos detectado en los alumnos a la hora de responder a este apartado, en el que se les preguntaba si bastaba la luz para ver, son las preconcepciones alternativas tan arraigadas que poseían sobre la visión, entre las que destacaba la denominada "baño de luz", que establece que vemos simplemente porque la luz baña los objetos. Todo se ve agravado por otro inconveniente grande: la práctica imposibilidad, según su criterio, de acudir a la comprobación experimental para poder corroborar sus afirmaciones.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"Sí, porque sabemos que la luz no traspasa los objetos y una silla, una mesa, etc... la luz no la traspasa. Y pasa que la luz choca con los objetos y los hace mucho más visibles y el ojo humano lo ve con menos esfuerzo. Y también porque si estuviéramos en una habitación a oscuras al no haber luz entre la los objetos y el ojo no podríamos ver nada (acompaña un dibujo aclaratorio)".

"El ojo es un visor natural. Necesita la luz para captar los objetos. En una habitación oscura (físicamente oscura) es imposible ver algo. La pupila del ojo es como un diafragma fotográfico, cuando no hay luz la pupila se agranda y cuando hay mucha luz la pupila disminuye. El ojo no es un emisor. Es un receptor, tiene que tener la luz por medio para ver (acompaña un dibujo aclaratorio)".

"No es que baste la luz para ver, es que sin luz no veríamos. La luz rebota en los objetos y va a nuestros ojos (añade un dibujo/hipótesis sobre como actúa la luz sobre nuestros ojos)".

"La luz rebota en el objeto y el ojo la recoge (realiza un dibujo). Al igual que en la televisión, necesitas que haya una luz antes de la imagen, para poder distinguir la silueta y te llegue a los ojos esa luz que se produce en la pantalla".

"Sí, para que una persona pueda ver la luz tiene que reflejarse en el objeto que se ilumine con la luz y volver rebotada hasta nosotros. Ejemplo: con una linterna en una habitación oscura, iluminamos un jarrón, los rayos de luz llegan al jarrón y son proyectados hacia nosotros otra vez, pudiendo ver el jarrón (añade unos dibujos). Los rayos proyectados por la linterna son reflejados en el jarrón hacia nosotros, pudiendo ver el jarrón", etc.

La tabla de valores para la actividad 3 (*Tanto la teoría corpuscular como la ondulatoria, sugieren que la luz se propaga -cuando no hay obstáculos- en línea recta y en todas direcciones. Proponer alguna experiencia para poder demostrar esta afirmación*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
6	13	12	11	8	1

En esta actividad se les pedía que propusieran alguna experiencia para poder comprobar que la luz se propaga en línea recta. Era una tarea que nos parecía sencilla inicialmente, pero que resultó complicada por diversas razones. En primer lugar, porque como hemos dicho antes, consideraban que para hacer experimentos con la luz habría que disponer de un material muy sofisticado y, en segundo lugar, refiriéndonos ya al propio concepto, por la confusión existente en su significado ya que algunos interpretaban, por ejemplo, que la propagación de la luz en línea recta significaba que se propagaba preferentemente en horizontal, mientras que otros la confundían con la propagación en todas direcciones.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"Con una bombilla colgada en el techo de una habitación, encendida y sin obstáculos. Luego poner una mesa y comprobar si hay luz debajo de la mesa. Y poner un espejo en el lado para ver si la luz se mueve en línea recta (acompaña un dibujo esquema)".

"Teoría corpuscular: la luz es un cuerpo. Sobre las 7'30 de la tarde yo tengo el Sol justo delante de la ventana de mi dormitorio. Cerrando la puerta y bajando la persiana -sólo dejando los agujeritos- los rayos penetran a través del cristal y pasan por los agujeros, entonces yo me subo a la cama y golpeo las zapatillas, una contra la otra, cae polvillo y se ven los rayos de luz (acompaña un dibujo aclaratorio)".

"Experiencias: Con el gran emisor de luz que es el Sol se puede comprobar que ilumina todas las partes de la Tierra y la Luna que tenga delante, eso demuestra que la luz se desplaza en todas direcciones (añade un dibujo). Con una linterna y una cartulina alrededor dejando un fino agujero, enfocamos en la oscuridad a una pared y veremos un rayo que al medirlo veremos si es recto (añade otro dibujo)".

"La luz de una linterna, donde iluminas, allí se ve la luz (incluye un dibujo). Con un tubo fluorescente se ve por todas partes y si te tapas por un lado, no se ve por ese lado, sólo se ve el rebote de la luz (añade otro dibujo)".

"Hacemos un agujero en cada una de las dos caras más pequeñas de una caja de zapatos, colocamos una vela encendida, hacemos agujeros también por las demás caras de la caja de zapatos, colocamos la caja en una habitación oscura, podremos ver como la luz de la vela se ve por todos los agujeros salir (añade un dibujo). La luz sale por todos los agujeros hechos, probándose que sale en línea recta y en todas direcciones", etc.

La tabla de valores para la actividad 4 (*¿Podríamos añadir algo más sobre la propagación de la luz después de compararla con la propagación del sonido?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
6	10	9	16	9	1

Las mayores dificultades que los alumnos encuentran para responder a una cuestión de este tipo, se deben

fundamentalmente a la creencia de que no existen más ondas que las materiales y, por tanto, que todas necesitan un medio para transportarse. Además, en la práctica, les resulta difícil entender qué es lo que vibra en la luz, teniendo en cuenta que puede propagarse en el vacío. Obviamente, nuestra insistencia en el Sonido de determinadas consideraciones se arrastran en las interpretaciones que hacen de la Luz.

La actividad 5 (*Mucha gente piensa que luz es instantánea, mientras que otros piensan que tiene una velocidad enorme. ¿Como podríamos saber quien tiene razón?*), fue respondida por los alumnos de forma individual, como tarea para casa, por lo que no figura como propia del cuaderno de trabajo. No merece la pena incidir de una forma especial sobre ella.

La tabla de valores para la actividad 6 (*¿Qué factores influyen en la velocidad de la luz?*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
6	8	17	16	2	2

En consonancia con los resultados de la actividad cuatro, las dificultades encontradas por los alumnos fueron muchas. Si es complejo para ellos entender la propagación de la luz, cuando se trata de establecer los factores de los que ésta depende, los obstáculos son mucho mayores, ya que carecen de información sobre los valores de la velocidad de la luz en medios diferentes al aire.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"Depende del medio dónde se desplaza, porque a cuantas más partículas tiene el medio, más le cuesta desplazarse por él. Y como el medio tiene partículas que la obstaculizan, los obstáculos entran, pero en el medio".

"El medio ya es un obstáculo para la propagación de la luz. Si el obstáculo es hierro, claramente la luz no se propaga. Si es aire, se propaga más rápido que en el vidrio. Tiempo no depende, la velocidad de la luz es constante. Potencia del foco no depende porque la velocidad luminosa es la misma, alumbra más pero la velocidad es la misma (añade un dibujo aclaratorio)".

"Factores expuestos en clase: Tiempo, obstáculo, medio, potencia del foco, distancia y ojos. Individualmente: Tiempo, no depende, porque conforme pasa el tiempo no varía la velocidad, será siempre 300.000 Km/sg (en el aire). Obstáculo: sí depende en obstáculos transparentes o traslúcidos, pero no depende en los opacos porque rebota en el rayo. Medio: Sí depende, es por donde se propaga y dependiendo de la resistencia que ofrezca al paso de la luz irá a más o menos velocidad. Potencia del foco: no depende, a más potencia más ilumina, pero la luz va a 300.000 Km/sg. Distancia: no depende; la velocidad es constante. Ojos: No depende; no ven la velocidad."

"En la velocidad de la luz influye el medio donde se propague, porque según el medio donde se propague será mayor o menor la velocidad. En un cuerpo transparente la luz se propaga, en un cuerpo opaco la luz no se propaga, rebota hacia todas direcciones (añade un dibujo)".

"Creemos que algunos e ellos son: el tiempo, obstáculo, el medio, la potencia de foco, la distancia y los ojos -receptor-. Aunque no sabemos cuál de ellos es el bueno", etc.

La tabla de valores para la actividad 7 (*¿Qué le ocurre a la luz cuando choca con un cuerpo opaco?. Realiza una experiencia para comprobar tus afirmaciones y luego descríbelo con un dibujo*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
6	3	17	14	9	2

En esta actividad se les pedía a los alumnos que emitieran una hipótesis sobre lo que le ocurriría a la luz al chocar con un cuerpo opaco, para luego realizar una experiencia que hubieran diseñado para comprobarlo. Los resultados obtenidos, que son levemente superiores a los anteriores, nos inducen a pensar que el hecho de tratarse de algo tan concreto como es el choque con un cuerpo ha colaborado a su realización. No obstante, el propio concepto de cuerpo opaco (confuso para ellos) así como la extensión de la actividad (hipótesis, diseño y realización de la experiencia) han sido elementos que no han contribuido a mejorar los resultados, quedándose la mayoría de las respuestas en la parte más superficial, es decir, en que la luz se refleja pero sin llegar a nada más.

La tabla de valores para la actividad 8 (*Si el cuerpo opaco es un espejo, el haz de luz se ve muy nítido. ¿Podrías, aprovechándote de ello, sacar alguna conclusión sobre la reflexión?. Disponéis del aparatejo que hemos construido y de vuestro ingenio*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
6	7	9	18	4	7

En este apartado se les demandaba el establecimiento de las leyes de la reflexión, disponiendo del material necesario. Se obtuvieron los mejores resultados de esta parte del módulo que hace referencia a la luz. Se lo atribuimos a que se trataba de una experiencia bastante motivadora y muy concreta; aunque las hipótesis iniciales no eran demasiado consistentes, el propio desarrollo de la experiencia los acercaba al establecimiento de conclusiones interesantes. En la mayoría de los casos hubo que suministrar ayuda o reclamar su atención, para que llegaran a que ambos rayos (el incidente y el reflejado) estaban en el mismo plano.

La tabla de valores para la actividad 9 (*Si el cuerpo sobre el que incide la luz es transparente. ¿Ocurre lo mismo que antes?. Realiza un montaje práctico para comprobarlo*) sería:

Frecuencia					
No	0	1	2	3	4
6	7	9	18	4	7

En esta última actividad se les hacían las mismas preguntas, ahora al interaccionar la luz con un cuerpo transparente. Los resultados fueron sensiblemente inferiores a los precedentes, fundamentalmente debido a que las experiencias eran mucho más complicadas y a que entraba en juego el concepto de refracción que para ellos es de una complejidad enorme. De ahí que la mayoría de las respuestas se limitaran a recoger aspectos meramente cualitativos como, por ejemplo, que el rayo de luz se desvía al cambiar de medio, pero sin llegar a establecer ninguna relación entre los ángulos.

Recogemos a continuación de forma textual, algunas de las respuestas de los alumnos:

"No, no ocurre lo mismo ya que la luz al entrar en el cristal toma una velocidad distinta y el rayo de luz disminuye su velocidad produciéndose lo que ocurre en el dibujo (añade un dibujo aclaratorio)".

"Conclusiones: Reflexión de la luz en un cristal. 1.- En el interior del segundo medio por el que la luz se desplaza -cristal- se ve como el rayo se desvía -al entrar el rayo con ángulo de inclinación (añade un dibujo sobre sus palabras). 2.- Cuando el rayo incide sobre una esquina del

crystal se divide en dos rayos (añade otro dibujo). Refracción: cambia la velocidad y cuando ésta cambia también la dirección del rayo. Si un rayo entra en el vidrio sin inclinación no se desvía (incluye otro dibujo)".

"El cambio de medio es lo que hace que cambie la velocidad y a esto se le llama refracción. Refracción: cambio de velocidad y cambio de dirección".

"Cuando el rayo choca con la esquina de un cuerpo transparente se divide en dos (añade un dibujo). Se produce la desviación de la luz en un cuerpo transparente porque cuando entra el rayo al cuerpo cambia de medio por donde pasa, desviándose de su dirección y cambiando la velocidad, luego cuando lo ha atravesado vuelve a salir paralelo al rayo que entró (realiza otro dibujo)".

"No, disminuye su velocidad ya que en el agua disminuye de 300.000 Km/s a 220.000 Km/s y en el vidrio a 200.000 Km/s"; etc.

Hemos creído conveniente incluir en el Anexo 5 unos ejemplos de libretas de trabajo de nuestros alumnos para que el lector perciba el sentido y contenidos de las mismas.

No quisiéramos terminar este análisis sin hacer mención a una serie de ventajas que consideramos tiene para los alumnos el uso del cuaderno de trabajo y que hemos podido comprobar a lo largo de muchos años. Estos logros, de gran importancia pero de difícil evaluación, los hemos ido observando nosotros mismos tanto en la impartición de este módulo, como en otros que hemos utilizado en el aula. Aunque no se ciñen, en la mayoría de los casos, exclusivamente al área de las Ciencias Experimentales, consideramos que tienen la suficiente importancia como para que los resaltemos aquí.

En primer lugar hay que reconocer que la utilización de un instrumento como éste, al que no estaban acostumbrados, les suponía un gran esfuerzo, sobre todo teniendo en cuenta el poco uso que hacen del lenguaje escrito a lo largo de su vida académica, fundamentalmente centrado en la realización de exámenes o pruebas escritas. Precisamente por ello, la implantación en el aula de dicho cuaderno de trabajo hace que, paulatina pero constantemente, hayan logrado mejorar su expresión y vocabulario y, escribir mejor. Pudimos observar fuertes reticencias iniciales en muchos alumnos, tanto más cuanto mayores dificultades tenían; aunque conforme iban elaborando su propia libreta y venciendo las mismas, se daban cuenta de la importancia de llevarlo a cabo y la gran mejora que sufría su propia expresión en poco tiempo.

Hay que tener en cuenta que al tener que escribir sus respuestas (por tanto, el profesor podía leerlas), se les obligaba a meditarlas y a llevar a cabo una mayor reflexión sobre lo que estaban haciendo. Esta práctica, en la que hemos insistido mucho, conllevó que, poco a poco, fueran ampliando su visión de los conceptos y fenómenos, interrelacionando cuestiones diversas entre sí y, a su vez, haciéndolos más rigurosos en sus análisis.

Era curioso observar cómo estudiantes que al principio se limitaban a contestar a las actividades de forma restringida y sumamente escueta, conforme avanzaban en la elaboración del cuaderno de trabajo, iban dándose cuenta de la importancia de tomar notas de todo y de ser cada vez más ordenados y organizados. Estas consideraciones les hacían incidir en aspectos importantes del trabajo científico (elaboración de gráficas, recogida de datos, diseño de experiencias, realización de esquemas, utilización de unidades adecuadas, etc.), que constituían uno de nuestros objetivos primordiales.

En esa labor de sistematización, descubrían la verdadera importancia de los experimentos, a los que inicialmente sobrevaloraban, al observar que estos eran sólo una parte más del proceso y no el eje fundamental del proceso de descubrimiento en las Ciencias.

Consideramos que la rentabilidad que tenía en el aprendizaje de los estudiantes era muy grande, teniendo en cuenta que estaba elaborado con sus propios esquemas y vocabulario. Así, era posible desde la consulta de algún contenido trabajado anteriormente, hasta la contribución al establecimiento de posibles relaciones entre distintas áreas de la Ciencia, con la importancia que ambas cuestiones suponen para la construcción del conocimiento.

El cuaderno de trabajo, facilitaba además, la posibilidad de que conociéramos en profundidad las verdaderas carencias, limitaciones y, por qué no, logros de los alumnos. De esa manera era posible disponer de una información

muy valiosa para poder ayudarles, en función del nuevo papel que jugábamos; o, incluso, podría servirnos para realizar las pertinentes modificaciones en el diseño de futuras unidades didácticas.

La gran insistencia por nuestra parte, en que justificaran cada una de sus afirmaciones, fue inicialmente muy conflictiva e incluso, en algunos casos dolorosa; aunque posteriormente dio sus frutos ya que, una vez asumida la necesidad de hacerlo, los rendimientos fueron cada vez mejores, como puede apreciarse, por ejemplo, comparando los resultados de la parte correspondientes a las Ondas con los del Sonido.

Hay que destacar que a través de instrumentos de este tipo es posible detectar y potenciar algunas aptitudes olvidadas como por ejemplo, la creatividad, que de otra forma serían muy difíciles de apreciar. Hemos considerado muy importante fomentar en los alumnos este tipo de capacidades y valorarlas adecuadamente para no cercenar un valor tan importante en el trabajo científico.

Con el uso del cuaderno de trabajo era posible además que pudieran apreciar la evolución que ellos mismos iban sufriendo en "asuntos complejos" como la elaboración de modelos o la comprensión de determinados contenidos procedimentales. Partiendo de que es muy importante para nosotros que los alumnos aprendan a aprender y que esto se ve favorecido por el aprendizaje entre iguales, consideramos que este instrumento, en el que ha de reflexionar sobre su propio trabajo, puede contribuir a ello.

Creemos además que las estrategias de evaluación que utilizábamos contribuían a que consideraran el cuaderno de trabajo como algo útil para ellos, no sólo porque les podía servir para aprobar, sino porque estaban aprendiendo a elaborar un documento que era fundamentalmente para su propio uso.

C.4.2.2. Resultados de la entrevista a los alumnos sobre sus cuadernos de trabajo

Debido a la gran calidad de las entrevistas de profundización en el trabajo de las libretas, descrita en el apartado 2.4.2.3, nos ha permitido completar muchos de los aspectos señalados en el punto anterior. Para no ser reiterativos con su descripción sólo nos centraremos en aquella información que se refiere a cuestiones de gran importancia y muy difíciles de extraer con una prueba escrita como, por ejemplo pueden ser los modelos interpretativos que los alumnos utilizan. Para ello hemos seleccionado una serie de preguntas respecto a los que utilizan para las Ondas, el Sonido y la Luz que, por su relevancia, consideramos que pueden dar una idea bastante aproximada de la evolución de los conocimientos de los alumnos.

A) Respecto al Modelo para las Ondas

Con respecto a este modelo, hemos elegido la pregunta, en la que se les pedía que dijeran: *¿Cuáles fueron las claves que te convencieron de que el modelo que elegimos era el adecuado para las ondas?*

A la hora de establecer las categorizaciones hemos encontrado que las respuestas se pueden agrupar en una serie de grupos, que son los que aparecen a continuación. Destaca que la mayoría de los alumnos (13/22) dieron más de una justificación a su contestación, predominando entre estos, los que dieron 3 o más argumentos (9/22). En cambio tan sólo dos alumnos no justificaron su respuesta. Recogemos a continuación en la Tabla 4.4 la frecuencia con la que se han repetido los diferentes argumentos (sólo cuando han sido dados por más del 10% de los entrevistados).

P.2.- ¿Cuáles fueron las claves que te convencieron de que el modelo que elegimos era el adecuado para las ondas?	
Porque lo hemos demostrado en clase	14/22 (63.6%)
Porque demostraba que no transportaba materia en su propagación	9/22 (40.9%)
Porque sirve para justificar las ondas longitudinales y las transversales	4/22 (18.2%)
Porque se ve como se propaga la energía	3/22 (13.6%)
Porque se aprecia que surgen de una perturbación	3/22 (13.6%)
Porque explica como la propagación depende del medio	3/22 (13.6%)
Otras respuestas	3/22

Tabla 4.4

Se aprecia que hay dos tipos de respuesta. Los del primer grupo se centraban en aspectos del proceso de Enseñanza/ Aprendizaje; hay que destacar la importancia que los alumnos atribuyen a las experiencias prácticas y la relación que establecen con la creación del modelo; también valoran la opinión de sus compañeros y la información escrita, tan olvidadas ambas por la mayoría de los profesores.

Las demás se refieren a alguna de las características de las ondas. El grupo más numeroso es el que justifica el modelo gracias a que es posible la propagación de la perturbación sin transporte de materia, cuestión que llama poderosamente la atención a alumnos de estas edades y en la que nos detuvimos muchísimo, lo que probablemente explique que se tenga presente por un porcentaje importante. Otros se refieren a la posibilidad de comprender las ondas longitudinales y transversales, lo cual no deja de ser una relativa sorpresa por la complejidad de los conceptos implicados o, al menos, por no ser evidentes. El resto de las argumentaciones se centraban en aspectos relacionados con la propagación, que lógicamente son para ellos los más intuitivos.

Aunque la categorización completa aparece en el Anexo 6.1.1, vamos a ejemplificar algunos de los razonamientos utilizados por los alumnos.

Tipo 1: Porque lo hemos estudiado en clase

Las afirmaciones recogidas se podrían clasificar en tres tipos de respuestas según se refieran a las experiencias prácticas, a las opiniones de los propios compañeros o la información escrita; a veces hacen mención de dos o tres de estos indicadores metodológicos. Para nosotros ponen de manifiesto que estos elementos son valorados como muy interesantes de cara a su aprendizaje. De todas formas pensamos que, dentro del proceso de enseñanza, no dejan de ser unas partes pero que es fundamental no olvidarlas ni separarlas de la parte teórica o de las explicaciones del profesor.

Alumno 45

- Esta pregunta fue de las liosas, ... que se formó un llo... y que hasta que... alguien dijo: esto es como lo de las bolas... pues eso fue un llo y al final nos quedamos con este porque la verdad es que se ve con más claridad. Porque por ejemplo, al darle con la bola de un lado a otro, ... como eso es una onda que se propaga, se ve, ... no se ve nada pero se nota como pasa la onda y salta la otra bola... en na de tiempo. También viendo como se hacían las ondas transversales con el mismo modelo, ... que yo pensaba que sólo se podían hacer las longitudinales, ... viendo como tomaban las curvas las bolas, ... haciendo... la onda... y eso fue...

Alumno 19

- Nosotros abandonamos el ejemplo de la tabla de Wind-surfing porque nos convencieron los compañeros de otros grupos.

Alumno 4 (Extracto de la respuesta)

- Me convenció porque era un modelo aproximado al desplazamiento de las ondas.. eso fue lo que me ayudó, las fotocopias y las explicaciones de clase.

Tipo 2: Porque demostraba que no transportaba materia en su propagación

Se aprecian unos logros cognitivos muy importantes en un número considerable de alumnos pero, además, se observa una mejora manifiesta en la explicitación de los argumentos al emplear términos que inicialmente eran desconocidos. Como en muchos casos, entremezclan sus ideas con referencia a circunstancias y situaciones del proceso de construcción del conocimiento. Cuando se trata de impartir una enseñanza no superficial hay que tener presente que el proceso es un todo y que no es posible obviar una de las partes.

Alumno 28

- Yo al principio no tenía ningún modelo y lo que me hizo convencerme fue todo ... En nuestro grupo no lo teníamos claro y cuando lo discutimos en clase y tú lo explicaste nos convenció. Lo que más me convenció es que no trasportaba materia, ya que las bolas de enmedio no se movían prácticamente, ... que transportaba la energía a la hora de darle el golpe y, ... que rebotaban, o sea que volvían igual al muelle.

Alumno 47

- En principio lo tenía chungo, ... porque no tenía las ideas claras..., pero me puse a pensar, y mientras tu hablabas de lo de las peloticas, yo pensé, está diciendo tonterías, voy a pasar de el... porque nos va a comer la cabeza... y se ve claro que el sonido se desplaza a través de la materia... y mirando al fondo del laboratorio, vi el montaje de las bolicas... y pensé: si se desplaza a través de la materia es como la electricidad, que se desplaza a través del cable... entonces las ondas tienen que ser así... y como sabía que se transportaba mejor por el suelo que por el aire... y ¿por qué es eso?, porque en el suelo está la materia más junta, más denso ..., entonces empecé a imaginarme como pondría las bolicas y tal, ... y así saqué en claro el modelo ese..., cuando terminaste de hablar lo expuse, fue bueno, la gente lo aceptó y ya está.

Tipo 3: Porque sirve para justificar las ondas longitudinales y las transversales

Los argumentos, en los que se apoya la justificación del modelo desde el punto de vista científico, son sumamente interesantes por el salto cualitativo que entendemos que supone para los alumnos la diferenciación entre distintos tipos de ondas; hay que tener presente que deben “jugar” con las direcciones de la perturbación y de la propagación, conceptos no intuitivos. Indica, además, la relación entre las partes teórica y práctica (aunque sea a nivel de maqueta experimental) en los conocimientos adquiridos. No hay que olvidar que a lo largo del módulo hemos hecho numerosas experiencias, tanto diseñadas por ellos mismos como realizadas por nosotros (experiencias de cátedra).

Alumno 6

- Es que el modelo de las bolas te explica muy bien... por ejemplo, como se propaga en el aire y en la tierra,... que estén más o menos separadas las bolas, también te explica que al vibrar una hace vibrar a la otra cuando están juntas... y así... ¡este modelo es el mejor que hay!. Más o menos también sirve para ondas longitudinales y transversales, porque al hacerle una fuerza hacia abajo al primero, éste sube, luego baja, sube otra vez y así... dándole de lado. Te puede explicar las dos.

Alumno 42

- Yo primero hice el modelo de un coche que iba para arriba y para abajo en una cuesta, pero me di cuenta de que ese modelo no valía porque trasportaba materia...Luego, dándole vueltas a la cabeza, pensé que si en lugar de lanzar la bola contra la otra, la dejamos caer de arriba hacia abajo,... que toque,... pues aunque la bola sea menor, pero sigue siendo transversal y eso fue lo que me hizo... A mí al principio me costó creérmelo,... porque yo creía que sólo valía para las longitudinales... pero luego fue cuando utilicé las fotocopias que hemos visto y vi que se diferenciaban en el golpe,... en el inicio..

Tipo 4: Porque se ve cómo se propaga la energía

Las explicaciones recogidas en este grupo ponen de nuevo de manifiesto la visión que los alumnos tienen de la propagación de las Ondas en la línea del tipo 2. Establecen la diferencia entre que sea la materia la que se desplace o que lo haga la energía y, aunque desde el punto de vista científico no es completamente correcto que se “vea la energía”, sí parece indicar una ampliación de la estructura de los modelos utilizados inicialmente.

Alumno 24

- Porque era un modelo en el que se definían perfectamente las características de las ondas, no había desplazamiento de materia pero sí de energía y se podían mezclar dos ondas... sin que perdieran sus características físicas y eso.. y daba la coincidencia que en el de las bolitas salía igual.

Tipo 5: Porque se aprecia que surgen de una perturbación

Aunque se nota la falta de consistencia en las respuestas, lo más importante de este tipo de justificaciones es que se utiliza la producción de la onda para establecer diferencias con el comportamiento de los cuerpos. Es curiosa la gran importancia que atribuyen a la perturbación producida por una vibración pero hay que señalar que este aspecto ha sido resaltado en varios casos.

Alumno 30

- Porque según lo que hablamos visto de las características de las ondas, era el más lógico... porque se parece en que es una vibración y se produce por una perturbación,... igual que las ondas... y la fuente productora del sonido que hace una vibración como en el caso de la cuerda.

Tipo 6: Porque explica cómo la propagación depende del medio

Las explicaciones están relacionadas con las de tipo 2 que son las que los alumnos suelen utilizar con más frecuencia, ya que les permite relacionar la onda con la materia, mucho más palpable y concreta. Quizás refleje la conveniencia de utilizar esta idea como eje de una intervención en el aula. De hecho, sería conveniente que la secuencia de enseñanza comenzara trabajando cuestiones que tuviera presente esta dependencia, para posteriormente abordar otras de mayor complejidad.

Alumno 35 (Extracto de la respuesta)

- Tenías que producir una perturbación para que se produjera el movimiento de las bolas, que en este caso serían ondas. Vimos además que si separabas las bolas, la onda llegaba con menos fuerza,... se atenuaba;... pero en cambio con las bolas juntas, al chocar, la última salta con fuerza despedida. Me convenció que no trasportaban materia, que se atenuaban hasta quedarse quietas...

B) Respecto al Modelo para el Sonido

Para determinar la evolución del modelo que los alumnos tenían sobre el Sonido, seleccionamos una serie de preguntas de la entrevista de profundización descrita en el apartado 2.4.2.3. Aunque lógicamente en otros momentos de la mencionada entrevista hicieron referencia al tema, nos fijamos en estos interrogantes de una forma especial. Las cuestiones figuran en el Cuadro 4.1

Pregunta	Enunciado
7	- Lo que sabías sobre las Ondas, ¿te ayudó a responder a la 1ª pregunta del Sonido?.
9	- ¿En qué cosas te apoyaste para averiguar cómo se propagaba el Sonido?, ¿de que te acordaste?
30	- ¿Qué diferencias ves tu (desde el punto de vista físico) entre la Luz y el Sonido?
31	- Realmente ¿tu ves el Sonido y la Luz como ondas?, ¿por qué?

Cuadro 4.1

En este caso, por estar ubicadas en dos partes diferenciadas de la entrevista, los alumnos que respondieron a todas ellas fueron solamente ocho. Este escaso número de referencia nos limita enormemente de cara al establecimiento de una casuística más amplia que, sin duda, percibimos intuitivamente en el grupo. Esta limitación tiene su contrapunto en la variedad y riqueza de los argumentos utilizados.

Todos los estudiantes (8/8) parten de la consideración del Sonido como una onda material, estableciendo para él un modelo similar al que habían determinado para las Ondas, en general, y justifican sus afirmaciones con numerosas explicaciones. Precisamente el número de argumentos científicos es el criterio hemos utilizado para establecer las categorías.

En general, se hace alusión a las características y propiedades de una onda: no transporta materia, forma de producción, su propagación y la relación con el medio, su interacción con los objetos, sus interferencias, etc. Teniendo en cuenta que el promedio de justificaciones era de 6.5 por alumno y que las explicaciones eran correctas y amplias, podemos considerar que los modelos utilizados en esos momentos eran sobradamente consistentes y, desde luego, de niveles superiores a los que utilizaban al principio de nuestra intervención.

Además, como en el caso anterior, se apoyan en las actividades realizadas durante el desarrollo de la propuesta: experiencias, actividades, debates,... y explicaciones. En este sentido, creemos que la metodología no ha sido un referente más sino que, en general, ha constituido un factor determinante para las nuevas ideas. Las discusiones sobre la propagación del Sonido en clase fueron muy intensas e impactantes ya que inicialmente lo que pensaban es que una onda era un cuerpo pequeño que se iba abriendo paso a través de las partículas de la materia.

Aunque la categorización completa aparece en el Anexo 6.1.2, hemos encontrado que las respuestas se pueden englobar en grupos, que se recogen en la Tabla 4.5.

P.7, P.9, P.30 y P.31	
Por las experiencias prácticas que hicimos (en clase o en casa)	7/8 (87.5%)
Tipo 1: Utiliza más de siete argumentos distintos que caracterizan al sonido como una onda	3/8 (37.5%)
Tipo 2: Utiliza cinco o seis argumentos distintos que caracterizan al sonido como una onda	2/8 (25.0%)
Tipo 3: Utiliza tres o cuatro argumentos distintos que caracterizan al sonido como una onda	2/8 (25.0%)
Tipo 4: Utiliza menos de tres argumentos distintos que caracterizan al sonido como una onda	1/8 (12.5%)

Tabla 4.5

Como puede verse, en la primera fila, se aprecia que casi todos (7/8) se apoyan en cuestiones concretas y relevantes que guardan relación con las situaciones de aprendizaje; así mencionan experiencias, debates con compañeros, intervenciones del profesor, fotocopias,... Destacamos una de las respuestas de los alumnos por lo reveladora que resulta al respecto: "[...] y la prueba esa de la vela también lo hice -porque yo no me lo creía- y salla" (Alumno 47).

Pero, además de estas explicaciones, en todos los casos se esboza un modelo, difícil de sintetizar, que tiene muy presente un prototipo construido en clase. Se hizo colocando una serie de péndulos contiguos que los alumnos hacían oscilar y que era conocido por por el "modelo de las bolas". Pasamos a describir algunos ejemplos que ilustren las restantes categorizaciones.

Tipo 1: Utiliza más de siete argumentos (necesita un medio, no transporta materia, es diferente de la luz, hace vibrar a los cuerpos al chocar con ellos, puede atravesarlos, se puede explicar por el modelo de las bolas,...)

Alumno 1

- Nos ayudó saber que si una onda tiene unas propiedades,... que no desplaza materia,... y así lo demostramos: que no desplazaba materia el sonido, que el sonido de dos personas hablando se entrecruzan y que les llega a todos. Fuimos viendo si el sonido cumplía las características de las ondas.

- Al principio no teníamos muy claro como se propagaba, pero empezamos haciendo una especie de lista de... como se propagaban las ondas en el agua, en el aire,... y como sabemos que las ondas no se transportaban igual en todos los medios... fuimos viendo el por qué... aunque nos costó más de una clase... es que había bastantes dificultades en la pregunta... ese día la discusión no era potente.

- Las diferencias es que el sonido necesita la materia para propagarse y la luz se puede propagar en el caso de que no haya materia: que el sonido, llegue al material que llegue (hierro u otro material) pasa, hace que vibren las partículas y pasa, y la luz no, la luz no pasa si da en el hierro o en algún sólido.

- Según lo que hemos hecho en clase, yo me creo que el sonido es una onda, yo creo que sí. Hemos hecho cosas en clase que pueden demostrarlo, o que tiene las características de la onda... lo siento como una onda. La luz la veo medio medio, no estoy convencido, cumple características de los cuerpos y también de las ondas... todavía estoy indeciso,... yo creo que de las dos cosas un poco. Aparte que no sea como vimos en clase, que hay dos tipos de ondas, las materiales y las

no materiales; las que utilizan la materia para propagarse y las que no necesariamente la utilizan.... pero también tiene cosas de los cuerpos: cuando llega a una pared o algo sólido no lo atraviesa, sino que se produce un choque brusco, pero no lo atraviesa sino que rebota simplemente. Yo creo que cumple las dos condiciones, la de los cuerpos y la de las ondas.

Alumno 6

- A nosotros lo que nos ayudó bastante fueron las experiencias, porque sabiendo que si es un movimiento ondulatorio, al propagarse no desplaza materia.... por ejemplo, lo de la vela: si tu estás delante de una vela hablando, la vela se tendería que tumbar si no fuera un movimiento ondulatorio, pero como lo es, no se tumba. Tu primero tienes que saber en que se basa un movimiento ondulatorio y es... que no se desplaza materia... para poder saber si el sonido lo es.

- El modelo de bolas también me ayudó, porque te lo dejaba claro,... tu le dabas a una bola... entonces vibraba una, otra, otra,... y saltaba la última... entonces dices: el sonido tiene que ser lo mismo, coges, vibra una partícula y le transmite la vibración a otras... y así.

- Una se puede transmitir en el vacío y la otra no; y estás pensando que hace falta materia para que se transporte el sonido y luego llega la luz y dices ¡mecachis en la mar! y todo lo que pensabas del sonido y de las ondas ya no te vale y te preguntas ¿pero, cómo puede ser esto?, es que es un flash cuando te enteras de que hay ondas que se transmiten por el vacío, cuando tu hablas estado estudiando que no se puede. Que el sonido estamos seguros de que no es un corpúsculo, pero la luz no sabemos si es un corpúsculo o una onda, porque la transmisión de la luz a través de distintos materiales es al revés que en el sonido... y no te lo explicas, porque donde se transmite muy rápido el sonido, la luz es al contrario y... dices ¡esto no puede ser!, sobre todo, en el hierro, porque el sonido se transmite muy rápido en él, pero la luz no pasa y su velocidad es cero.

- Yo creo y pienso que el sonido es una onda, sino... por ejemplo, una onda se transmite por la materia, entonces cuando tu estás en tu habitación y pones el radio-cassette y subes el volumen, y pones la mano en la pared por ejemplo... y parece que te está entrando la música por la mano... porque tu sientes cuando están los bajos, el piano,... y se te meten por la mano y está muy bien. La luz eso no tanto, porque eso es algo más difícil, pero... después de las cosas que hemos hecho, como las interferencias y todo eso, más o menos yo creo que es una onda,... también puede ser un corpúsculo,... las dos cosas.

Tipo 2: Utiliza cinco o seis argumentos (necesita un medio, es diferente de la luz, se puede explicar por el modelo de las bolas,...)

Alumno 23

- A mí me sirvió, porque como teníamos una idea de lo que era un movimiento ondulatorio, pusimos el ejemplo del papel y como sabíamos que el sonido se produce por una vibración como todas las ondas,... y no transporta materia... porque el folio delante del altavoz no se mueve,... y entonces ves que cumple dos características de las ondas.

- Yo me apoyé en el modelo de las bolas y me imaginaba que el aire estaba lleno de bolicas, y que tu cuando hablabas... se movían las bolicas y se iban,... produciendo una reacción en cadena... y entonces al llegarte al oído, lo oías... O sea que se propagaba por medio de choques de bolas.

- El sonido es mucho más fácil que la luz y se diferencian en eso del vacío, que no se propaga el sonido y la luz sí, la velocidad del sonido es mucho más lenta que la de la luz...

- El sonido para notarlo que es una onda es difícil,... tu siempre tienes la esa de que son bolicas que te dan en la oreja,... pero ya más o menos sabes que, más o menos no sabes que es una onda y tienes pruebas para... que antes por ejemplo, tu hablabas y lanzabas bolas y... entonces te llegaban al oído pero,... aún sigo yo,... fijo no es... es la costumbre de... pero ya se lo que es una

onda. Yo notar que el sonido es una onda no lo noto, ... bueno, sí lo notas, por ejemplo puede atravesar paredes, tu estás aquí y pegas un chillido y ahí fuera te oyen ..., o estás en una esquina y al hablar produce... que te oye el de atrás, que si... pero que. La luz es, [...]

Tipo 3: Utiliza tres o cuatro argumentos (necesita un medio, es diferente a la luz,...)

Alumno 22

- Sí, porque al principio tentamos la idea de que las ondas eran de la forma de las patatas Matutano y hablamos entre todos de tipos de ondas, y se habló también de las distintas ondas, que metimos el sonido y eso,... luego sabíamos responder más correctamente que el sonido era una onda, que si no lo hubiéramos estudiado previamente.

- Yo en esta pregunta no me guié mucho de las ondas,... sino que como yo he dado el sonido en otros cursos y en clases de Música... pues sabía la manera de distinguirlos.

- La diferencia es que el sonido se esparce a lo ancho y la luz para que ocupe tanto espacio tiene que ser por medio de rebotes y de choques, mientras que el sonido se puede decir que sale de un lado y se puede decir que sale hacia todas direcciones; el sonido se escucha y la luz no... se ve. Se parecen en que son muy rápidos, son los dos más rápidos que existen.

- Es que lo hemos demostrado y hemos visto las causas por las que eso es una onda, no porque me lo hayan dicho sino porque lo he entendido (el sonido) como una onda por sus diferentes causas; y la luz... pues, también... la luz es una onda, porque de corpúsculo no tiene nada y yo creo que es una onda.

Tipo 4: Utiliza menos de tres argumentos

Alumno 24

- Para mí la diferencia más clara sería el papel que cumple cada uno dentro de la naturaleza, porque el sonido ni mucho menos es parecido a la luz, ni la luz al sonido; el sonido sirve para oír y para producir muchas cosas... variaciones de cuerpos, dilataciones y todo eso..., y la luz sirve para ver y para distinguir lo que tienes a tu alrededor, por medio de los colores y todo eso, y sin ello prácticamente sería imposible...

- Yo tengo muy claro que el sonido es una onda, lo tengo clarísimo... porque en clase hemos hecho experimentos y me he convencido que de alguna manera tiene que llegar el sonido y no es precisamente emitiendo nosotros partículas que choquen contra el oído del vecino... Pero no metería la mano en el fuego afirmando que la luz es una onda, no lo afirmaría, porque las pruebas que tengo, o que tenemos son... muy decisivas, y porque puede ser un corpúsculo... y creo que algunas veces se propagan con una de corpúsculos en determinadas ocasiones...

c) Respecto al Modelo para la Luz

Para determinar la evolución del modelo que los alumnos tenían sobre la Luz, seleccionamos una serie de preguntas de la entrevista de profundización descrita en el apartado 2.4.2.3. Aunque lógicamente en otros momentos de la mencionada entrevista hicieron referencia al tema, nos fijamos en estos interrogantes de una forma especial. Las cuestiones figuran en el Cuadro 4.2.

En esta ocasión, nuestra intención no fue, como en los casos anteriores, la de establecer cuáles eran las claves que llevaban a los alumnos a defender un modelo determinado, sino la de lograr además en cuál de las tres posibilidades se ubicaban; es decir, si creían que la luz es una onda, un cuerpo o una dualidad onda/corpúsculo. De las respuestas que dieron los alumnos, es posible establecer que estos se encontraban distribuidos en los tres grandes tipos, según queda recogido en la Tabla 4.6.

Pregunta	Enunciado
12	- ¿Tú crees que la luz es una onda o es un corpúsculo?
13	- ¿Cómo convencerías a "alguien como tu madre" de que la luz es lo que tu crees?
15	- Cuando se trata de algo tan complicado como es la luz, ¿amplías tu estrategia de alguna manera?
30	- ¿Qué diferencias ves tú (desde el punto de vista físico) entre la luz y el sonido?
31	- Realmente ¿tú ves el Sonido y la Luz como ondas?, ¿por qué?

Cuadro 4.2

Modelo	Frecuencia
La luz es una mezcla de onda y corpúsculo	14/25 (56%)
La luz es una onda	8/25 (32%)
La luz es un cuerpo	3/25 (12%)

Tabla 4.6

El número de contestaciones es amplio (la mitad de la muestra) lo que nos hace confiar más en la extrapolación de los resultados al conjunto de los alumnos que han participado en nuestra experiencia. La categorización completa aparece en el Anexo 6.1.3 pero también vamos a ejemplificar algunas de las opciones señaladas con la intención de plasmar el sentido de las afirmaciones.

Para facilitar la interpretación de las respuestas, que vamos a analizar de menor a mayor complejidad, hemos elaborado un esquema (Figura 4.1) en el que quedan recogidas las características más importantes de los diferentes grupos de opinión (aparece en la siguiente página). En dicha figura, pretendemos reflejar, simultáneamente y de forma sintetizada, las principales justificaciones que los alumnos aportaban en sus afirmaciones, así como las relaciones que establecían entre ellas.

Tipo 1: La luz es un cuerpo

En primer lugar hay unos cuantos estudiantes (3/25) que consideraban la luz exclusivamente desde el punto de vista corpuscular. No obstante, se señalan otras ideas correctas que es interesante reconocer. Recogemos las respuestas textuales de dichos alumnos:

Alumno 9

- Para convencer a alguien... la luz se propaga en todas direcciones, ¿eso se sabe ya, no?... con una bombilla encendida se ilumina toda la habitación y también se yo que se propaga en línea recta, pero... a mi madre pues,... por ejemplo, la diferencia que hay del sonido que es una onda contra la luz,... el sonido cuando llega a una pared, si la pared es débil o sea que el sonido llega, choca, la hace vibrar y pasa; la pared todos sabemos que es opaca y la luz al contrario llega a la pared y no pasa al otro lado, rebota y no pasa. Esto prueba que la luz no es una onda, es un corpúsculo; la onda no transporta materia, necesita las partículas para desplazarse y se propaga en el medio en el que es producida. La luz no se propaga en el medio en el que es producida, la luz se propaga a 300.000 Km/s.

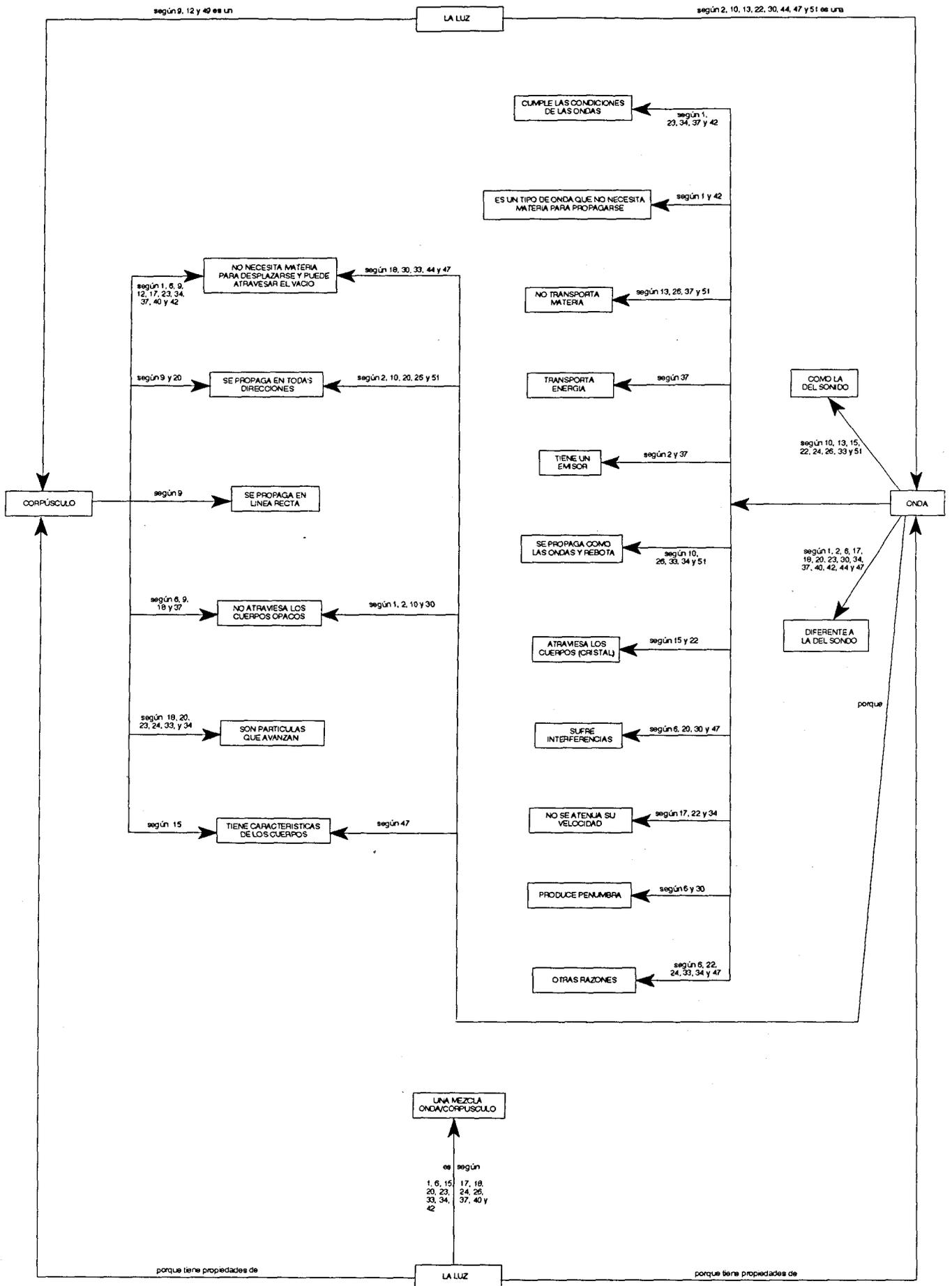


FIGURA 4.1

- Una diferencia clara entre la luz y el sonido sería la velocidad de propagación, la de la luz es mucho más grande que la del sonido. El sonido necesita un medio de propagación,... en el vacío naturalmente no se puede propagar el sonido; y la luz al contrario, sí se puede propagar en el vacío, aunque no hayan partículas que le tengan que llevar, o sea que no tenga medio de propagación. El sonido atraviesa cuerpos, mediante una vibración la onda del sonido puede pasar a través del cuerpo, al contrario que la luz que no puede pasar el cuerpo si es opaco, si es transparente sí puede pasar y el sonido también.

Alumno 49

- La luz es un corpúsculo

- Lo convencería diciéndole que si la luz fuera una onda, necesitaría un medio para propagarse y que no se propagaría en el vacío como es el caso de las estrellas, entonces si las estrellas están casi en el vacío y se propaga la luz porque la vemos, pues si fuera una onda no se propagaría porque necesita materia.

Se puede observar que las argumentaciones coinciden en que no tratan de demostrar que la luz es un corpúsculo, sino en que no es una onda. Los tres afirman que no puede serlo porque se propaga en el vacío y las ondas necesitan un medio para propagarse. Además uno justifica su respuesta en que se propaga en línea recta y en todas direcciones, y que cuando llega a un cuerpo opaco, rebota y no pasa; añadiendo que la onda no transporta materia. Las contestaciones, parecen indicar más una confusión sobre el concepto de onda, limitado exclusivamente a las ondas materiales, que a la existencia de un verdadero modelo corpuscular.

Tipo 2: La luz es una onda

Otro grupo de alumnos (8/25) consideraba en cambio, que la luz es exclusivamente de naturaleza ondulatoria, es decir sin ninguna componente corpuscular. No obstante, hay que distinguir entre las respuestas, cuatro que la consideraban del mismo tipo que las ondas sonoras y otras cuatro que la consideraban diferente.

El primer grupo de alumnos no establece diferencias significativas entre la onda sonora y la luz, a la que consideran una onda del mismo tipo. Los argumentos se basan en demostrar, como puede verse en la Figura 4.1, que es una onda (no transporta materia -2 veces-, se propaga en todas direcciones igual que las ondas -2 veces-, rebota igual que las ondas -2 veces-, como onda no traspasa todos los materiales, por tener las características de las mismas). Pero también tratan de demostrar que no se trata de un cuerpo (si fuera un cuerpo no atravesaría algunos materiales, no se desplazaría tan rápido y se atenuaría antes). Recogemos a continuación las respuestas textuales de algunos.

Alumno 10

- La luz,... sí, es una onda.

- Para convencer a alguien yo le diría... que la luz se propaga igual que las ondas,... rebota igual que las ondas,... se propaga en todas direcciones igual que las ondas... rebota en las paredes,... bueno en un espejo mejor y rebota; no es una onda muy intensa, pero,... es que es una onda que no lleva mucha fuerza, no es como el sonido que por ejemplo, estás en una pared y a través de esa pared tu lo puedes oír estando al otro lado,... en el caso de la luz, no la ves estando la pared... pero en un papel o un cartón o algo, sí se vería, es una onda que tiene poca fuerza... pero creo que es una onda.

- La luz y el sonido son ondas, pero una es más intensa que la otra, el sonido es más intenso que la luz... el sonido sí puede rebotar en una pared o en una montaña, hace el eco; la luz no rebota en esos sitios...

Alumno 51

- Para convencer a alguien le diría que es una onda porque no transporta materia,... que va en

todas direcciones ... y que, ... no depende del medio para que haya luz... Para que sepa lo que es una onda, le pondría un ejemplo, como que al ser una onda, al dar en un objeto puede rebotar, porque las ondas al chocar con un objeto rebotan.

- No hay ninguna diferencia entre la luz y el sonido, si te explicas una te explicas la otra.

- Yo sí se que el sonido es una onda, ... porque si no lo fuera, cuando estás en el campo en lo alto de una montaña y gritamos, pues no se escucharía el eco. Yo la luz más o menos me lo creo que es una onda, pero yo no lo sabía si lo era, no estaba seguro... después de trabajarlo yo creo que sí es una onda... porque por ejemplo, si estamos enfrente de un espejo, pasa como con el sonido que se reflejan las imágenes y eso quiere decir que es una onda.

Los otros cuatro alumnos también pensaban que la luz era una onda pero la consideraban diferente al sonido. Las argumentaciones, recogidas también en la Figura 4.1, se centran, como en la situación anterior, en demostrar que la Luz es una onda (porque sufre interferencias -2 veces-; porque se propaga en línea recta y en todas direcciones y porque tiene un emisor) y que no se trata de un cuerpo (si fuera materia, la sombra que crea un objeto se vería nítido). Aunque también tratan de explicar las diferencias con respecto a las ondas sonoras (es distinta porque hay cuerpos que no puede atravesarlos; porque se transporta en el vacío; porque no necesita materia para propagarse -2 veces-; porque no puede traspasar objetos opacos y el sonido sí). Parece que estos alumnos tienen un modelo de la luz más consistente y, aunque no incluyen las características corpusculares de la Luz, sí aprecian la existencia de diferencias significativas con respecto a una onda material, lo cuál nos parece indicar un mayor acercamiento al modelo científico.

Alumno 44

- Para convencer a alguien lo haría experimental, yo pienso que la mejor forma para una persona que no entiende mucho es que ella lo vea, ... y a partir de ahí tendría que pensar la experiencia. Hacer por ejemplo, un tipo de experimento para que él lo vea, si no puedo convencerla que lo vea... la gente sí se convence con un experimento porque es lo que ve. Si no se convence así, se lo daría científicamente y decirle: ¡esto está demostrado! y que lo viera en un libro o donde fuera. Podríamos hacer la experiencia de los focos que hicimos el otro día... consistía en coger una luz muy potente, con una membrana con un agujero en medio y al final una rendija, ... y podríamos ver como sale la luz en línea recta... bueno, esto serviría para comprobar que la luz se mueve en línea recta, que su movimiento es rectilíneo.

- El sonido sí es una onda, porque tiene todas las características de ser una onda, todo: como se mueve, como se desplaza, lo que hace... como si fuera un... por ejemplo, lo que hace un perro se define porque ladra, muerde, juega, ... pues el sonido se define porque hace todo lo que hace una onda. En mi vida normal no me preocupa si el sonido es una onda, simplemente llega; pero en la vida científica yo se que es una onda por eso, ... porque lo veo claro, porque me lo han enseñado y porque lo he aprendido. En el caso de la luz ya es diferente, la luz tiene muchas cosas, por ejemplo se transporta en el vacío, cosa que el sonido no, ahí varía un poco. Es que la luz tiene comportamientos no tan normales de onda que son los que yo he visto, ... hace cosas raras, ... bueno, que su forma de comportarse no es normal -en plan científico-.

Alumno 47

- Yo creo que la luz es una onda, lo que pasa es que es un tipo de onda diferente a las ondas que conocemos del sonido y tal, y creo que ese tipo de onda no necesita materia para desplazarse, sino que es una onda movida por energía.

- Lo que no se es como convencer a alguien, porque no tengo las ideas muy claras y no se como va eso, ... pero más adelante cuando tenga algo más de idea y vaya aclarando las ideas pues a lo mejor sí... Yo estoy con el tema de que es una onda, aunque no se como podría demostrarlo pero, es una onda; ... la luz un corpúsculo, un cuerpo... no es, ... aunque no lo puedo demostrar.

- Hay interferencias en la luz y en el sonido, pero las del sonido no tienen importancia, se atraviesan las dos ondas sonoras y a lo mejor tu escuchas las dos... y en el caso de la luz si son

de distintos colores, cambia el color y cambiaría entonces la forma del rayo de luz; sin embargo, las interferencias sonoras no; También cuando tu proyectas un sonido sobre una pared atraviesa y a la vez rebota, y la luz no rebota, absorbe la pared dependiendo del color que sea, una cantidad de luz y refleja otra... y el sonido no. La velocidad del sonido que es más baja que la de la luz; la forma de propagarse, la luz se propaga en línea recta y el sonido... aún no se como se propaga.

- Yo sí siento el sonido como una onda, yo antes pensaba que el sonido era una onda y conforme lo hemos ido hablando y comprobando, y haciendo tonterías... bueno cosas, se ha ido demostrando: su forma de propagación ... y ha ido convenciendo más a la gente de que es una onda... En mi vida normal, por ejemplo en mi casa, enchufo el aparato de música a todo gas, y si fuera un cuerpo... tiraría la casa... y al ser una onda,... pones la mano en la pared y parece que vibra, o en la puerta... y se cumple que no desplaza materia sino que la hace vibrar... y así se ve que es una onda; y la prueba esa de la vela también lo hice -porque yo no me lo creía- y salta. La luz la veo como una onda, pero hay condiciones que cumple de los corpúsculos, entonces... no sabría que decirte... pienso que es una onda, aunque el día ese que distes las fotocopias no vine y en los debates posteriores he estado atontado porque no sabía lo que decir y no... yo creo que es una onda.

Tipo 3: La luz es una mezcla de onda y corpúsculo

El resto de los alumnos (14/25) consideran, en mayor o menor medida, que la luz es una mezcla de onda y corpúsculo. Aunque hay que reconocer que el esquema predominante está bastante alejada de la dualidad onda-corpúsculo, las respuestas indican una evolución rápida e interesante -teniendo en cuenta la edad y las características iniciales de la muestra- a posiciones más sólidas científicamente hablando.

Respecto a la importancia que le dan a cada una de las partes de la dualidad, parece que para ellos es más importante la de onda, ya que ponen mayor énfasis en demostrarlo que en justificar que es un corpúsculo. Los argumentos más utilizados para demostrar la parte de onda (ver Figura 4.1) son que, cumple las condiciones de las ondas en 5 casos, aunque sea un tipo de onda que no necesite materia para propagarse; tres consideran que se propaga como las ondas; otros dos que no transporta materia en su propagación ; dos que no se atenúa su velocidad; otros que puede sufrir interferencias -2 casos-, etc.

Alumno 17

- Para convencer a alguien yo le daría pues... todas las hipótesis y todo lo que tuviera... que convencieran, que... a una persona no le puedo decir que opine eso porque sí, le tengo que dar alguna opinión y por qué es onda... no puedo a la persona obligarla. Yo le daría razones,... es onda porque por ejemplo, en el experimento ese de la luz que hizo usted, que entre las rendijas se veía sombra, y si fueran corpúsculos atravesarían la rejilla y se vería blanco, nítido, no se vería con sombras; y entonces intentaría darle las mayores pruebas posibles,... luego también le escucharía a él, si el dijera sus motivos, pues ya nos poníamos a debatir y ya, el que más razón tuviera, o si no nos ponemos de acuerdo... eso ya debatiendo; si no lo convido, seguiríamos debatiendo porque al final o tiene que ser una cosa o tiene que ser otra,... o a lo mejor son las dos,... seguiríamos sacando otras pruebas, hartamos experimentos,... o lo que fuera. Si fuera mi madre, le diría: es una onda porque si fuera un corpúsculo, muchas características de la luz no podrían suceder, porque si fuera un corpúsculo, con el tiempo la velocidad de ese corpúsculo se iría atenuando..., no se,... no caigo,... es que si le dijera lo del vacío y todo eso, es que también hay bastantes contradicciones, lo más fácil sería: es una onda porque según los materiales y tal..., pero debería de ser que iba a más velocidad cuanto más unidas estuvieran las moléculas de ese material, pero... es al contrario...; pero es que una prueba así para convencerla sería muy difícil; yo estoy convencido de eso, pero no tengo suficientes pruebas...

- La diferencia es que la onda sonora necesita un medio para desplazarse, para propagarse, mientras que la luz en el vacío se puede propagar... y que la onda sonora, su velocidad aumenta... puede propagarse en cualquier cuerpo y medio y su velocidad aumenta en el cuerpo que tenga las moléculas más unidas, por ejemplo se propagaría más rápido en el agua que están las moléculas más unidas que en el aire,... mientras que la luz es todo lo contrario y encima de todo, la luz no

puede pasar por los cuerpos opacos, se crea una sombra detrás porque digamos que choca con él y no puede pasarlo, entonces se vuelve.

- Yo el sonido sí lo siento como una onda,... eso más que la luz, el sonido para mí es onda, pero vamos desde..., yo lo noto por ejemplo, al hablar, en que las cuerdas como vibran... así, yo que se,... es una especie de ruido que llega hasta ti, que tu estás hablando y el otro te está escuchando... algo que te llega, y yo noto que es una onda, no podría ser lo de las peloticas... estoy convencido perdido de que el sonido es una onda,... a rajatabla. En el caso de la luz... ahí ya está más difícil, también pienso que la luz es una onda, aunque a veces ya tienes el pensamiento ya de dejar la teoría y pasarte al corpuscular... porque parece que la luz tiene algo de eso,... porque decir eso de que la luz se propaga por el vacío... y como toda onda no se podría propagar por el vacío,... lo que pasa luego es que el Huygens ese dice que hay una sustancia que se llama éter... pero eso no se ha visto, no se sabe,... entonces ya hay situaciones en que ya... dices, pues esto no es una onda, pero en otras dices que sí, y es un poco contradictorio y no se sabe... bien, si es una cosa u otra.

Alumno 40

- Pensamos que la luz es una onda; como todas las cosas, las ondas tienen unas características que las diferencian de muchas otras cosas, como son la teoría corpuscular y... entonces intentando explicarle las características que tienen las ondas y en que se diferencian de la otra cosa que puede ser que no es una onda, como la teoría corpuscular,... lo que pasa es que la luz es... una mezcla, pensamos que es una mezcla de ondas y cuerpos... y sería muy difícil intentar explicar la diferencia,... que hay entre una onda.

- Para convencerlo, habría que hacerle algunas pruebas, prácticas, algunas experiencias, diseñarle algunas experiencias e intentar explicarlas y que las comprendiera... como por ejemplo, como la de la linterna que la luz se propaga al hacerle la raja esa que hemos estado viendo en el banco óptico, y que produce una penumbra y se ven unas lindes, que no hay obscuridad, que sería una característica de la onda: que al haber interferencias siempre queda un campo en el que no se produce luz u... ondas, como en el mar... o en el agua.

- Yo veo que el sonido sea una onda, que es una onda total, una onda pura, porque cumple todas las normas de una onda,... desde que se van atenuando,.. sería una onda transversal,... que hace falta un emisor y un receptor,... La luz no lo veo igual, sobre todo por el ejemplo ese que ponemos siempre de que nos llega la luz del Sol, porque al cruzar en el vacío yo pienso que la luz tienen que ser unos cuerpos que se van moviendo en forma de onda, y al llegar al vacío, la inercia, la fuerza que llevan esos cuerpos, la onda desaparece y la velocidad que llevan esos cuerpos pasan al vacío y al llegar otra vez se convierte en una onda, las vibraciones que producen al entrar otra vez en la atmósfera, porque se producen unas vibraciones,... y yo pienso que eso es la luz. La luz es más difícil de entender porque además de llevar una mezcla de ondas y de cuerpos, es muy diferente al sonido, porque el sonido,... la luz siempre va en línea recta y nunca se esparce, si no le pones el proyector hacia otro lado... la luz no se esparce, va siempre en línea recta; y el sonido puedes oírlo... ahora mismo también se me oíría a mí detrás de mí y la luz no, si el foco está enfocado hacia allá, detrás de él no se vería igual que por delante ni mucho menos.

La mayoría de estos consideran que la parte de onda es diferente a la del sonido por características como la necesidad o no de un soporte material, por el valor de su velocidad de propagación,...

Alumno 37

- La luz es una onda.

- Para convencer a alguien pues, pondría todos los medios que yo se de las ondas, todo lo que se lo... como si dijéramos echar las cartas sobre la mesa, todo lo que sé se lo explicaría y luego escucharía su versión a ver si él se queda con esa opinión u opina otra y la debatiría con él. Es

decir que la luz cumple las características generales de las ondas... como por ejemplo, que transporta energía y no transporta materia, que necesita un emisor y se produce a partir de una fuerza o un choque...

- Las diferencias es que la luz en el espacio se trasmite, se puede transportar y el sonido no. La luz en medios opacos no se ve... no puede viajar y sin embargo el sonido en cuerpos que tienen los átomos más unidos se transmite mejor. También que la luz es una onda visible y el sonido no; la diferencia de velocidad que hay entre ellas también.

- El sonido sí lo veo como una onda, porque... no se si porque desde pequeño se que es una onda... se nota porque yo tengo un oído y recibo la onda y puedo recibir distintas vibraciones y... La luz no la veo igual, porque es más difícil, ... porque yo creo que una energía sí es una onda, ... una energía necesita un material o un medio para todo... la electricidad: materiales dieléctricos... la energía siempre necesita un medio... y entonces la luz prueba muchas condiciones de las ondas, pero que... esa por ejemplo, no... porque en el espacio vacío avanza y no me parece muy lógico. Yo como onda no me la imagino, pero cuerpo tampoco, porque no lo puedo tocar ni nada, no es como el aire... la luz es una cosa que... puede llevar mezcla de todo... características de ondas y también de cuerpo... sería una mezcla, como una mula es una mezcla entre burra y caballo.

Alumno 18

- Yo creo que la luz tiene parte de onda

- Para convencer a alguien yo empezaría.. tiene parte de onda, pero no como la parte anterior del sonido, porque el sonido en el vacío no se transmite, y en este caso la luz sí se transmite..., también tenemos, que se puede transmitir en medios de moléculas muy separadas, al contrario que el sonido; que la luz tiene algunas partes que es como... que es de onda; pero otras pienso que serían corpuscular, de cuerpo como por ejemplo, que no traspasa medios que sean de moléculas muy juntas. Esto no lo entendería cualquier persona, porque para explicárselo hay que estar muy... yo que se, hay que darle muchas vueltas, hay que estar todos los días encima y... entonces para explicárselo a una persona que no le haya dado las mismas vueltas, pues lo mismo ni lo entendería... entonces para que aprendiese lo que era una onda, podríamos decir que la luz se propaga al igual que el sonido, por un medio, o en este caso que se propaga.

- La principal diferencia es la de las moléculas, que para la luz se propaga mejor con moléculas separadas y para el sonido es al contrario, se propaga mejor en moléculas más juntas.

- Yo el sonido me creo que es una onda, porque experiencias de la vida cotidiana que tu tienes, por ejemplo eso del suelo, que se propaga mejor por el suelo, yo lo he utilizado jugando y eso te ayuda a entenderlo (p.e. al escondite, para saber si venía alguien, ponía el oído en el suelo). La luz ya, ... estoy un poco atrancado porque como no lo hemos aclarado del todo, es decir que no lo hemos terminado todavía, tengo dudas. Yo veo la luz más bien como un cuerpo, ... un montón de electrones que avanzan, porque no se yo como puede ser una onda y que no traspase un espejo por ejemplo...

Son pocos (4/14) los que le atribuyen una relación más estrecha o, por lo menos, que insisten en aspectos comunes más que en las diferencias.

Alumno 33

- Se podría decir que es una onda, porque tiene una cualidad igual que el sonido, que es que rebota en las paredes... y por eso puede ser que la luz sea una onda. Yo creo también que lo mismo que el sonido, la luz se atenúa... según va avanzando y que también cambia su velocidad según el medio en el que se encuentre, ... y si a la persona que le estamos explicando eso, sabe las características del sonido, con las cualidades esas creo que yo que las de la luz... también las puedes saber también. Si no conociera las cualidades del sonido, sería un poquito más difícil...

- Yo creo que la única diferencia, que por lo menos nosotros hemos comprobado, es su propagación en el vacío, ... la luz tiene su frecuencia, el sonido también; se atenúa a lo largo de un recorrido, necesita un medio para propagarse, ... bueno un medio, según el medio donde esté se propaga más rápido o menos..., yo creo que la única diferencia es la propagación en el vacío.

- Yo después de todo lo que hemos hecho en clase y las prácticas, y todo eso, yo creo que el sonido lo ves como una onda, ... que lo hemos comprobado y me he convencido de que es una onda... y lo veo así. Al final la luz ha sido mucho más complicado entender que es una onda, pero es que... como también tiene mezcla de corpúsculo y onda... por eso ha sido un poco más complicado y ahí nos hemos liado; igual que en el sonido, la onda no se propagaba en el vacío, pero en cambio la luz sí, y eso fue lo que más nos confundió a todos.

- Yo me la imagino como una especie de pelotillas saliendo del emisor, que es lo que emite la luz... y sé que no es eso pero me lo imagino así... porque por ejemplo, cuando estaba acostado en la cama o lo que sea y pasa así por las rendijas de las persianas estas, y a lo mejor hay polvo en la habitación o lo que sea, se nota así como... unas partículas pequeñas... yo mas o menos me imagino eso unas pelotillas.

Alumno 34

- Bueno, la luz, ... pues es parte de onda porque, ... por ejemplo, el sonido a través de... la luz es parecida al sonido... lo que pasa es que a través del vacío puede pasar e ir transmitiéndose, ... y tiene una explicación porque por ejemplo, tiene muchas características de las ondas, por ejemplo rebota en los materiales, puede traspasarlos, siempre y cuando sean transparentes o traslúcidos.

- Para demostrarle a una persona que la luz es una onda podríamos coger un cristal y encender una linterna enfrente, y vemos que casi toda la luz traspasa el cristal... al pasar por el cristal disminuye su velocidad porque cambia de cuerpo, pero se transmite a través del cristal, cosa que si no fuera una onda, que fuera un corpúsculo o sea un cuerpo, ... se quedaría en el cristal y no pasaría, o en todo caso se vería al otro lado mucha menos cantidad de luz por que se quedaría en el cristal. Si no lo ha entendido eso, no se yo como explicarle lo que es una onda, ... por ejemplo, podría ser con una linterna en un espejo, se enciende la linterna y se emite hacia el espejo, si fuese un cuerpo chocaría contra el espejo y se quedaría a ras del espejo o... no rebotaría casi, pero al demostrar que es una onda llega el haz de luz al espejo y perpendicularmente sale hacia otra parte..., a una pelota también le pasa eso, pero una pelota contra el cristal no sería... la pelota al llegar al cristal se frena mucho y emite un pequeño rebote, sin embargo al ser una onda sale con la misma velocidad e intensidad que llega.

- Yo el sonido lo entiendo más bien como una onda, porque si no fuese onda, por ejemplo a través de las paredes y demás no se podría oír nada, si fuera un cuerpo ¿cómo ibas tu a escuchar tu a través de una pared?, no se oír nada... y también se puede demostrar en que rebota, porque un cuerpo lo lanzas contra la pared y si está a mucha distancia puede ser que rebote el cuerpo, pero no llegue otra vez con toda la claridad con que ha sido emitido. La luz no la veo tan claro, porque unas veces parece más bien un cuerpo y otras veces parece más bien una onda... por ejemplo, si fuese un cuerpo, sí se podría explicar fácilmente a través del espacio... del vacío, pero siendo una onda es más difícil de explicar. Yo a la luz me la imaginaba como una onda corpuscular, por ejemplo, que a través de una especie de corpúsculos, pero suponiéndolos más pequeños que el átomo, que salen como pequeñas ondas muy seguidas, con mucha frecuencia, que producen el haz de luz... que se mueven tipo... como una forma de onda. O sea que un haz de luz está formado por pequeñísimas partículas que vibran en ese... ahí, y por eso tiene muchas cualidades de onda y de cuerpo.

Respecto a las explicaciones que, además de justificar que es una onda, presenta argumentos sobre los comportamientos corpusculares el número es menor. Consideran - en 8 ocasiones- que no necesita materia para propagarse; que se propaga en todas direcciones en otras 2, que no atraviesa los cuerpos opacos en 4, que las partículas se mueven en 5, ... Suelen ser las respuestas más completas. Recogemos a continuación algunas que de forma textual han sido expresadas por los estudiantes.

Alumno 1

- No se cierto si la luz es un corpúsculo o una onda, al principio creía que era más un cuerpo, pero en el debate y tal, parece también una onda, cumple algunas condiciones de las ondas, pero... no se todavía cierto lo que es, creo que es las dos cosas.

- Para convencer a alguien le diría que cumple muchas propiedades de las ondas, pero aparte también tiene propiedades del cuerpo, por ejemplo de los cuerpos, que la luz llega a una pared y no la atraviesa, sólo rebota, a no ser que sea un cuerpo transparente y eso es lo que más o menos hace un cuerpo, y que no necesita materia, en el vacío mismo se puede conducir. Pero también tiene propiedades de la onda, cuando se juntan dos rayos de luz no chocan sino que se atraviesan... cumple condiciones de los dos. Es que con lo que se sabe de las ondas y de los cuerpos, se puede decir que es las dos cosas; y además en el debate que hicimos de Newton e Huygens se vio, porque no sabían ni ellos mismos lo que era... tenían sus teorías, pero no llegaban a ponerse de acuerdo en lo que era...

- Las diferencias es que el sonido necesita la materia para propagarse y la luz se puede propagar en el caso de que no haya materia; que el sonido, llegue al material que llegue (hierro u otro material) pasa, hace que vibren las partículas y pasa, y la luz no, la luz no pasa si da en el hierro o en algún sólido.

- Según lo que hemos hecho en clase, yo me creo que el sonido es una onda, yo creo que sí. Hemos hecho cosas en clase que pueden demostrarlo, o que tiene las características de la onda... lo siento como una onda. La luz la veo medio medio, no estoy convencido, cumple características de los cuerpos y también de las ondas... todavía estoy indeciso,... yo creo que de las dos cosas un poco. Aparte que no sea como vimos en clase, que hay dos tipos de ondas, las materiales y las no materiales; las que utilizan la materia para propagarse y las que no necesariamente la utilizan,... pero también tiene cosas de los cuerpos: cuando llega a una pared o algo sólido no lo atraviesa, sino que se produce un choque brusco, pero no lo atraviesa sino que rebota simplemente. Yo creo que cumple las dos condiciones, la de los cuerpos y la de las ondas.

Alumno 6

- La cuestión es que yo cuando empecé tenía la teoría de que era un corpúsculo,... es decir que... no veas... Bueno,... le podría demostrar que es una onda cuando tu rodeas... un obstáculo muy pequeño que en vez de hacer una sombra perfecta, la hace casi con un poco de sombra muy tenue; y cuando tu pones lo de las rendijas, eso que pones tres, ¡claro! al mezclar tres haces de luz, si es una onda puede pasar eso de cuando se unen varios valles con una cresta y también puede pasar que se unan dos valles y dos crestas, y entonces se vea una cosa más iluminada y otra menos, y se vean así rayicas... Aunque realmente, no creo que se quedaría convencido del todo, pero si tu ves que las ondas puede pasar que se hagan zonas donde no hay luz o donde no puede haber el doble de luz cuando tu pones los focos, por ejemplo, las rendijas... si tu te estudias lo de las ondas, tu ves que las ondas pueden hacerlo, pero dices: si a lo mejor es un corpúsculo, ¿cómo va a pasar esto?,... ¿qué pasa?, ¿qué llega aquí,... rebota aquí,... y que hace?... no te enteras. Pero si tu le das vueltas a las ondas, dices: onda, pero si es verdad, si tu mezclas dos ondas, puede ser que haya interferencias, así sacarla más grande o que se interpongan las dos...

- Una se puede transmitir en el vacío y la otra no; y estás pensando que hace falta materia para que se transporte el sonido y luego llega la luz y dices ¡mecachis en la mar! y todo lo que pensabas del sonido y de las ondas ya no te vale y te preguntas ¿pero, cómo puede ser esto?, es que es un flash cuando te enteras de que hay ondas que se transmiten por el vacío, cuando tu habías estado estudiando que no se puede. Que el sonido estamos seguros de que no es un corpúsculo, pero la luz no sabemos si es un corpúsculo o una onda, porque la transmisión de la luz a través de distintos materiales es al revés que en el sonido... y no te lo explicas, porque donde se transmite muy rápido el sonido, la luz es al contrario y... dices ¡esto no puede ser!, sobre todo, en el hierro, porque el sonido se transmite muy rápido en él, pero la luz no pasa y su velocidad es cero.

- Yo creo y pienso que el sonido es una onda, sino... por ejemplo, una onda se transmite por la materia, entonces cuando tu estás en tu habitación y pones el radio-cassette y subes el volumen, y pones la mano en la pared por ejemplo... y parece que te está entrando la música por la mano... porque tu sientes cuando están los bajos, el piano,... y se te meten por la mano y está muy bien. La luz eso no tanto, porque eso es algo más difícil, pero... después de las cosas que hemos hecho, como las interferencias y todo eso, mas o menos yo creo que es una onda,... también puede ser un corpúsculo,... las dos cosas.

A pesar que se puedan echar en falta un mayor número de argumentos, las respuestas incluidas en este tipo, son las más completas y estructuradas, apreciándose en ellas un avance significativo con respecto a las ideas que tenían sobre la luz antes de comenzar a impartir el tema. Considerando además que la parte de la luz no se había impartido de forma tan "pausada" como las Ondas o el Sonido, pensamos que se les ha exigido una aplicación de conocimientos nada intuitivos lo que nos hace sentirnos sumamente satisfechos con los resultados.

Si tuviéramos que resaltar algún alumno, nos inclinaríamos por el 1. Ha incluido prácticamente casi todos los cuestiones significativas de las que se podría hacer uso, lo cual nos parece sumamente importante, tanto más cuando se trata de un alumno repetidor que podríamos calificar de "malo" académicamente hablando.

Por último, hay que resaltar que las contestaciones plantean la existencia de interrelaciones conceptuales y de una percepción integrada de los conocimientos de las tres partes, hecho poco habitual en la enseñanza institucional.

C.4.2.3 Conclusión de la Subhipótesis Uno (SH2.1)

Después de haber analizado los resultados de los cuadernos de trabajo de los alumnos y sus respuestas en la primera parte de las entrevistas, aceptamos la Subhipótesis Uno (SH2.1) que decía:

La aplicación en el aula de la metodología ensayada favorece una evolución positiva de los conocimientos de los alumnos, respecto a las Ondas , al Sonido y la Luz.

C.4.3. RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA SH.2.2: ESTUDIO DE LA HOMOGENEIDAD DE LA APLICACIÓN

Como dijimos en la descripción de la muestra utilizada, nuestra propuesta se llevó a la práctica en tres grupos diferentes: 2ºA FP1 de la rama de Electrónica (Grupo 1), 2ºB FP1 de la rama de Electrónica (Grupo 2) y 2º FP1 de la rama de Electricidad (Grupo 3). Aunque hemos utilizado y analizado los datos de forma conjunta, nos interesa conocer qué grado de homogeneidad tiene la aplicación de unos planteamientos metodológicos como los ensayados. Habría que decir, no obstante, que no apoyamos la idea de que es necesaria una gran homogeneidad. En el ámbito de la investigación educativa, aún controlando todas las variables posibles, existe siempre -afortunadamente- un componente personal que no es universalizable. Pero, además, en nuestro caso hemos creído y apostado por una fuerte participación de los alumnos para que contrasten ideas, discutan opiniones, cooperen en la realización de tareas,... principios que llevan implícita la generación de aprendizajes diferentes en cada grupo. Nos interesa, pues, profundizar en las diferencias para una mayor clarificación de lo que ha sucedido realmente.

C.4.3.1 Estudio de la homogeneidad de la aplicación

Como en otros momentos de la investigación, creemos que un referente importante para esta intención es el cuaderno de trabajo de los alumnos, documento que constituye un indicador de cómo se han presentado los contenidos, cómo se han trabajado y, sobre todo, cómo han sido percibidos por los estudiantes.

Dado que habíamos cuantificado cada una de las cuestiones o actividades realizadas, aplicamos la prueba de Kruskal-Wallis tomando como variable la pertenencia a cada uno de los grupos. Vamos a mantener la división entre las diferentes partes del módulo (Ondas, Sonido y Luz) pues resulta bastante ilustrativo de cara a la evolución del proceso de construcción de conocimiento.

A) Respecto a la parte de las Ondas

En la tabla 4.7 aparecen recogidos los resultados correspondientes a la parte de las Ondas.

Act	1	2a	2b	3	4	5	6a	6b	7a	7b	8	9	10	11	12
<i>H</i>	5.69	2.35	12.1	2.27	.35	1.21	1.05	1.65	9.58	7.12	3.52	4.29	.08	2.91	7.26
<i>Sig</i>	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	*

Tabla 4.7

Hemos tomado como nivel de significación ($\alpha=0.05$). Para este riesgo de error, el valor crítico de Kruskal-Wallis (H_{crit}) es 5.99. Este nos determina la decisión estadística de las diferencias; "ns" representa la no significación, mientras "*" señala lo contrario.

Como puede apreciarse, no se han dado diferencias significativas en 11 de las 15 actividades, más del 70%; sólo en 4 se producen dichas diferencias. Esta situación suele ser habitual al comienzo de cualquier módulo; la poca consistencia de los conocimientos anteriores exige comenzar con actividades situacionales, de poca complejidad científica, que permitan conectar con las ideas previas que aportan los alumnos. Se produce, pues, una "homogeneidad natural" que, incluso, es deseable para nuestra propia comodidad. De hecho, la existencia de una heterogeneidad hace difícil la presentación de unos contenidos comunes, ya que puede ocurrir que mientras unos los perciban como de gran complejidad y por tanto difíciles, lo que hace que no se enteren; otros los vean tan sencillos y asequibles que puedan llegar a aburrirse.

En un tema como el nuestro, tan escasamente abordado en éste y en otros niveles educativos, resulta fácilmente comprensible la interpretación del equilibrio existente entre los tres grupos. No obstante, vamos a comentar algunas de las diferencias encontradas.

En la *actividad 2b*, como dijimos, se trataba de extraer una información relevante de un documento escrito y aplicarla a la clasificación del sonido desde una perspectiva ondulatoria; es realmente curioso que la actividad 2a teniendo las mismas exigencias (incluso, idénticas fotocopias), sin embargo, no generó tantos problemas. Las propias características de los contenidos implicados (dirección de la propagación, de la perturbación, tipos de ondas,...) posiblemente justifiquen unos resultados que son los más bajos de esta parte del módulo. En esta situación la influencia estadística de un número limitado de contestaciones correctas hace fácil la significación de las diferencias; de hecho en el grupo 1 no hubo ninguna respuesta correcta y esto favorece el valor de Kruskal-Wallis obtenido. En cualquier caso, hay que señalar que tuvimos grandes dificultades para clarificar estos conceptos, aunque los resultados de 6a y 6b parecen rentabilizar los esfuerzos realizados.

Distinta situación se plantea en las otras actividades en las que también aparecen diferencias significativas. En *7a* y *7b* subyace el concepto de longitud de onda. Teniendo en cuenta que la identificación de las magnitudes características de las ondas fue percibida bastante claramente por los alumnos, nos sorprendieron, a priori, estos resultados. Podemos atribuirseles a que, en ambas, se partía de la visualización de una experiencia real -pileda de ondas- y común a todos los estudiantes de cada grupo. A pesar de nuestros esfuerzos, la experiencia que se llevó a cabo no fue exactamente la misma y es posible que dicha visualización fuera, por tanto, desigual y que ello condicionara el dibujo representativo de lo que habían observado. Esta vez, a diferencia del caso anterior, las dificultades aparecieron en los grupos 2 y 3, aunque hay que resaltar que, en un contexto de rendimientos altos por parte de la mayoría de los alumnos.

El caso de la *actividad 12* es importante, pues constituye una síntesis de conocimientos como longitud de onda, frecuencia, amplitud,... Sin embargo, la opción correcta presenta una dificultad añadida (ya que no puede saberse la frecuencia con los datos del enunciado). Hay que señalar que en anteriores tareas (por ejemplo, la 8) se había abordado este concepto lo que, en un principio, no hacía presagiar estas diferencias. Quizás, la necesidad de especificar si correspondían o no a representaciones de ondas en el mismo tiempo sea el origen del desajuste; de hecho, en los grupos 1 y 2, algún alumno pidió en voz alta una clarificación de lo que se preguntaba, mientras que en el 3 no ocurrió así. En consecuencia, este hecho tan circunstancial es quizás la fuente de unas diferencias, de las que no fuimos conscientes hasta que posteriormente revisamos los cuadernos de trabajo.

Como puede verse, en esta parte del módulo sólo se dieron diferencias en situaciones muy localizadas y que parecían fruto de la lógica circunstancial que suele darse en una clase. Incluso, un hecho nos reforzaba esta idea: cada vez que aparecían las dificultades era en grupos distintos; es decir, la pertenencia a una clase no constituía un factor de heterogeneidad en la aplicación de la propuesta.

B) Respecto al Sonido

En la Tabla 4.8 aparecen recogidos los resultados correspondientes a la segunda parte del módulo: el Sonido.

Act	1	2a	2b	3	4	5	6	7a	7b	8	9	10	11a	11b	12
<i>H</i>	2.14	6.14	5.79	6.20	4.36	4.42	4.36	7.41	8.33	20.	5.57	2.14	7.18	6.62	6.12
<i>Sig</i>	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	*s	*	*	ns	ns	*	*	*

Tabla 4.8

Como puede verse, en este caso se han dado diferencias significativas en más de la mitad de las actividades; en concreto, en 8 de las 15 actividades realizadas. Hay que considerar que esta parte del módulo constituye un momento clave para la construcción del conocimiento. El alumno se encuentra inmerso en la temática y existe una dependencia alternativa entre sus ideas iniciales y los aprendizajes desarrollados hasta dicho momento, de manera

que unas veces predominan las primeras y otras las segundas. Esto lleva a que existan factores externos a la propuesta (experiencias sobre hechos de la vida cotidiana, conocimientos matemáticos,...) que pueden afectar a los resultados de la misma. De todas maneras tampoco podemos olvidar que inicialmente existía un cierto desajuste entre los grupos respecto al nivel de conocimiento de los contenidos procedimentales que, debe ponerse de manifiesto en alguna parte del módulo.

Entrando en las *actividades* donde se han producido las diferencias nos encontramos las primeras significativas en la *2a*. Curiosamente no es una tarea donde la "exigencia académica" sea grande, pues trata que el alumno diga qué tiene que ocurrir para producirse un sonido. En este tipo de planteamientos genéricos influye mucho la capacidad de comunicación por escrito y, al respecto, el grupo 3 solía tener mayores dificultades para expresar sus ideas o mantener una continuidad en la elaboración del cuaderno. Así, cuando se pedían ejemplos de situaciones cotidianas en relación con un fenómeno, las aportaciones de dicho grupo eran más limitadas y obviamente generaban momentos de menor riqueza didáctica. Casi en sentido contrario funcionaba el grupo 1, lo que provocaba algunas diferencias significativas como la apuntada.

Por otro lado, la *actividad 3* refuerza esta apreciación. Tampoco en ella las exigencias científicas parecen más altas que otras: descripción coloquial de sonidos (agudos y graves, fuertes y flojos,...) y ejemplificación de los mismos. Nuevamente el factor de la facilidad comunicativa subyace en las diferencias obtenidas (si bien es cierto que estas limitaciones eran mucho menores en el lenguaje oral). En este caso, no sólo se presentan entre los grupos 1 y 3 sino también entre 2 y 3. Este condicionante es muy importante sobre todo en propuestas, como la nuestra, donde el contraste, la modificación, la sustitución, la ampliación,... de las ideas de los propios alumnos constituyen elementos determinantes para el aprendizaje. Queremos resaltar, además, que la superación de esta dificultad añadida, influenciada por el bajo nivel socio-cultural de los estudiantes que cursan Formación Profesional, lejos de desanimarnos, ha constituido para nosotros uno de nuestros grandes retos, en el que el cuaderno de trabajo es una parte decisiva.

Las *actividades 7a, 7b y 8* tienen una connotación diferente. Todas se refieren a la introducción del concepto de velocidad de la luz que, como dijimos en el Capítulo 2, tanto perturbó el desarrollo de nuestra estrategia. Los contenidos procedimentales implícitos se referían a aspectos distintos; mientras la primera precisaba el uso del modelo interpretativo de las ondas, la segunda el diseño de una experiencia para comprobar unas afirmaciones previamente elegidas por los alumnos y la tercera la aplicación o extrapolación a nuevas situaciones. No parece, pues, que las diferencias iniciales existentes en el conocimiento de estos contenidos tan dispares sean la causa del desajuste. Tampoco existe una dependencia clara de los grupos. Así en *7a*, por ejemplo, los mejores resultados se obtenían en el grupo 1 y en *7b* los peores correspondían a este mismo grupo. Por lo tanto, no parecía ser una variable que justificara las diferencias encontradas.

Quizás, habría que recordar que, en aquel momento, existía una desorientación que influyó en un descenso en el interés y un enrarecimiento del clima de clase (en los tres grupos). En esta situación de inestabilidad es lógica la existencia de discontinuidades que introducen elementos menos controlables en el proceso. Desde luego, no tenemos argumentos más sólidos para justificar la contradicción.

Por último, las *actividades 11a, 11b y 12* se referían a ejercicios numéricos en torno a los conceptos de eco y reverberación. Si bien estos, a "niveles teóricos", presentaban una homogeneidad clara como se pone de manifiesto en la *9* ó en la *10*, no ocurrió lo mismo cuando se pedía implícitamente la utilización de herramientas matemáticas, aunque fueran simples. En estas situaciones, era el grupo 2 el que presentaba comportamientos más anómalos, fruto de limitaciones que no guardan relación con el tema ni probablemente con la asignatura. Hay que reconocer que el avance experimentado en esta ámbito a lo largo de la experiencia, pero es indudable que carencias de este tipo requieren esfuerzos más largos de los que supone un curso académico, aunque en algunas investigaciones se proyecte la idea de que los cambios son inmediatos.

Por todo lo visto hasta ahora, es en esta parte del módulo donde se dan las mayores diferencias en la evaluación de los cuadernos de trabajo. Parece existir un mayor rendimiento del grupo 1 en algunas de las actividades, pero lo atribuimos más a la lógica heterogeneidad de los grupos (conocimientos, hábitos de trabajo,...) que a un efecto directo de la propuesta ensayada. En algún caso, incluso podríamos justificarlo por el orden en el que ésta se llevaba al aula, ya que entendemos que es posible que en nosotros se produzca también un aprendizaje docente fruto de la experiencia pero, desde luego, no es una causa generalizable a todas las actividades, tanto en las que se producen diferencias como en las que no.

C) Respecto a la Luz

En la Tabla 4.9 aparecen recogidos los resultados correspondientes a la tercera parte del módulo: la Luz.

Act	1	2	3	4	6	7	8	9
<i>H</i>	5.05	8.77	9.28	5.26	3.16	3.97	11.3	2.91
<i>Sig.</i>	ns	*	*	ns	ns	ns	*	ns

Tabla 4.9

Como puede apreciarse en esta ocasión, igual que ocurría en la primera parte del módulo, el número de actividades donde no hay diferencia significativa es mayor, ya que éstas sólo se producen en tres casos. Podría inferirse que, después de la acomodación inestable a ciertos contenidos, existe una fase de mayor homogeneidad dado que muchas ideas se han asentado en los alumnos, aunque pertenezcan a diferentes grupos.

Las variables donde se han producido las diferencias presentan características distintas respecto a los conceptos implicados (visión, propagación rectilínea de la luz, reflexión,...). Pero una vez más parece que son los contenidos procedimentales los que marcan esta heterogeneidad. Posiblemente los tiempos de aprendizaje no sean los mismos en función del tipo de conocimiento implicado y más aún en alumnos que llevan muchos años en contextos institucionales donde no se han priorizado, precisamente, determinados ámbitos del saber científico.

La *actividad 2* se refiere a la visión y en ella la dependencia de los conocimientos extraescolares respecto al tema resultan evidentes. Parece como si "nos saliéramos" de lo académico y predominaran más las concepciones de la vida cotidiana. En este sentido, ya hemos visto en otros casos que se pueden producir diferencias entre los grupos, más por sus ideas iniciales, sobre todo si están fuertemente arraigadas como en este caso, que por las propias características de las actividades. Aunque sigue siendo el grupo 1 el que "estira" los resultados de forma más satisfactoria, ahora es el grupo 2 el que realiza peores respuestas.

En la *actividad 3* les pedíamos el diseño de una experiencia para demostrar la propagación rectilínea de la luz y también, como en otras tareas donde está implícito este contenido procedimental, vuelven a establecerse diferencias. Estos datos manifiestan, una vez más, la dificultad intrínseca de los procedimientos que consideramos un elemento muy importante en el desarrollo de una propuesta que, como la nuestra, pretende romper con las "dos ciencias", teórica y experimental, introduciendo conocimientos de un gran valor formativo para cualquier ciudadano. En los diseños de dichas experiencias concurren además unos conocimientos conceptuales (en este caso nada complejos) y unas estrategias diferentes que heterogeneizan las respuestas.

Por último, hay que resaltar que la *actividad 8* precisó de nuestra aclaración pues, en principio, su formulación inducía a error o a la incompreensión de lo que se estaba preguntando. En estas situaciones, el profesor interviene con una información que se "adapta" más a las circunstancias que a la propuesta y, sobre todo, no es recibida por todos los alumnos de la misma manera. Es lógico pensar que las contestaciones se diversifiquen y así se han podido poner de manifiesto en los resultados. En este caso, el grupo 3 es el que realiza peores respuestas.

En resumen, en esta parte del módulo, existe una mayor homogeneidad que en el anterior aunque en algunas actividades se produzcan diferencias significativas. No obstante, no existe una dependencia clara del grupo y pensamos que el origen de dichas diferencias habría que buscarlo en las características iniciales de los alumnos o en aspectos circunstanciales propios de cualquier aplicación de una metodología en aulas reales, donde la diversidad de situaciones, conocimientos, dificultades,... favorecen la necesidad de personalizar nuestra forma de trabajo.

En cualquier caso, dada la situación de la segunda parte, hemos creído conveniente realizar el contraste entre los grupos de forma global -todo el módulo- y se ha obtenido

$$H = 5.43 \quad (H_{cr} = 5.99; \alpha = 0.05)$$

Puesto que el valor obtenido es menor que el crítico, no podemos indicar que existan diferencias significativas en función de los grupos, aunque, en una serie de actividades, sí se manifiesten.

C.4.3.2 Conclusión de la Subhipótesis Dos (SH.2.2)

Tras el análisis realizado en el estudio de la homogeneidad de la aplicación, hemos de aceptar parcialmente la Subhipótesis Dos. De esta manera podemos afirmar que:

Existe una homogeneidad global en la aplicación de la metodología ensayada, aunque se aprecian diferencias en un número limitado de actividades de enseñanza.

C.4.4 RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA SH.2.3: LA VALORACIÓN DE LOS ALUMNOS

Pasamos a continuación a describir los resultados obtenidos en la entrevista respecto a la valoración que los alumnos hacían de los diferentes aspectos de nuestra propuesta didáctica.

C.4.4.1 Resultados de la entrevista de valoración de los alumnos

Vamos a utilizar en cada ítem una tabla en la que figurarán tres columnas; en la primera establecemos una serie de categorías en función de las respuestas; en la segunda recogemos ejemplos significativos de dicha categorización; y en la tercera figuran los alumnos que han dado ese tipo de respuesta y sus porcentajes. A continuación llevaremos a cabo un comentario sobre cada una de las tablas.

En la tabla 4.10 se aprecia que uno de los elementos de la propuesta que más eco ha tenido para los alumnos ha sido el trabajo en grupo (podrá corroborarse esta apreciación en otras preguntas planteadas). El debate era un aspecto consustancial con la propuesta y ha sido utilizado como un contenido más de formación. Esta idea nuestra parece que ha sido claramente percibida por los estudiantes.

P.32.- ¿Qué es lo primero que tienes en cuenta cuando vas a responder una pregunta?		
El debate dentro del grupo	Ej.: <i>Primero la leemos todos; cada uno se lee su folio y luego damos cada uno nuestra opinión... Cuando coincidimos dos, por ejemplo, intentamos conocer a los otros dos y hasta que no quedamos de acuerdo, no ponemos nada en la libreta y...</i> (Alumno 22)	17/24 (71%)
Buscar que es lo que se pregunta	Ej.: <i>Lo primero que tengo en cuenta es informarme de lo que va la pregunta...</i> (Alumno 33)	9/24 (37%)
Reflexionar individualmente	Ej.: <i>Lo primero es no decir lo que piensas porque si no siempre picas; eso seguro. Lo que hay que hacer es pensarlo bien para ver como puede ser la respuesta</i> (Alumno 6)	6/24 (25%)
Primero la opinión individual y luego el grupo	Ej.: <i>Leemos la pregunta y lo hacemos primero individual y luego cogemos las cuatro o cinco respuestas y escogemos la mejor... la que se sobrentiende que es la mejor</i> (Alumno 3)	3/24 (12%)
Otras respuestas		2/24

Tabla 4.10

Otro aspecto en el que también insistimos, respecto a las cuestiones planteadas en las hojas de trabajo, era la necesidad de saber qué es lo que se preguntaba antes de responder. Parece una práctica generalizada que las prisas por terminar el programa por parte del profesor se junten con la necesidad psicológica de cambiar de actividad de los alumnos. El resultado es que una propuesta bien elaborada pasa a ser anecdótica o poco estructurada de cara al aprendizaje por una ausencia de reflexión sobre qué se está planteando. En nuestro caso, creemos que no ha sido así e, incluso, algunos llaman la atención sobre este hecho.

Lo que no hemos percibido en las respuestas de una forma tan clara como los puntos anteriores, ha sido el trabajo individual. Creemos que la dinámica de interacciones entre iguales sólo tiene sentido desde el contraste de las ideas individuales; asumir el debate sin una reflexión previa puede degenerar en una discusión sin argumentos. Que las respuestas dadas no lo pongan de manifiesto, puede ser debido más a que se "daba por hecho" que la realidad en la puesta en práctica de la propuesta. De hecho tenemos constancia de esa reflexión personal previa, circunstancia que no era posible apreciar en los primeros temas del curso.

Aunque son muchos los elementos que aparecen en las respuestas de los alumnos, se puede observar en la Tabla 4.11 que no suelen atribuir a un solo aspecto lo que más les ha ayudado. Sin duda, el impacto del trabajo en

grupo nuevamente se presenta como un indicador significativo para los estudiantes de lo que ha sido la metodología ensayada.

P.33.- ¿Qué es lo que más te ayuda cuando vas a responder una pregunta (cuaderno de trabajo, profesor, compañeros, etc.)?		
La opinión de los compañeros	Ej.: <i>Sobre todo los compañeros porque Germán es muy cabezón y tiene que ser su idea... y como la impone, la impone porque casi siempre suele tener razón... No es por nada pero se ve que piensa las cosas mejor que yo (Alumno 19)</i>	16/24 (67%)
La libreta	Ej.: <i>La libreta muchas veces hace que de otros ejercicios que has hecho te de ideas de lo que tienes que hacer y por dónde tienes que ir; te ayuda mucho a sacar conclusiones (Alumno 45)</i>	9/24 (37%)
El profesor	Ej.: <i>Es el profesor porque si no tenemos las cosas claras lo llamamos y... dando pistas y tal... no nos dice lo concreto, lo que es la pregunta, sino que va dando vueltas hasta que nos pone a pensar (Alumno 47)</i>	7/24 (29%)
Lo que sabes; los propios conocimientos	Ej.: <i>Utilizamos lo que sabemos del asunto. Parece que no, pero ayuda bastante a responder a las preguntas (Alumno 27)</i>	7/24 (29%)
Las fotocopias	Ej.: <i>Lo que más me ayuda es la información que hay en las fotocopias (Alumno 28)</i>	5/24 (21%)
Un poco de todo o todos a la vez	Ej.: <i>Yo creo que de todos porque de la libreta sacas las ideas; del grupo, claro... y del profesor que nos aclara muchas dudas con los ejemplos y tal... (Alumno 11)</i>	4/24 (17%)
Otras respuestas		4/24

Tabla 4.11

También quisiéramos destacar la importancia concedida a la libreta que, como dijimos tenía como finalidad fundamental la reflexión e implicación en su propio aprendizaje. No obstante, conviene recordar que no suele ser ésta la que se le da tradicionalmente y, en nuestra propuesta, no sólo se han modificado hábitos discutibles de niveles educativos anteriores, sino que se ha valorado positivamente desde el propio convencimiento del que lo ha utilizado.

Se alude a los propios conocimientos de los alumnos como factor fundamental en las respuestas a las preguntas planteadas. Como nos sorprendieron un poco estas contestaciones, indagamos sobre lo qué querían expresar; en este sentido, hay que señalar que aparecen dos acepciones: las que se refieren a sus conocimientos de hechos cotidianos (aprendizaje no-institucionalizado) y los que han querido decir simplemente que sus respuestas se producen de forma reflexiva. Ambas nos resultan muy interesantes por razones obvias.

Mención especial merece el papel asignado al profesor que aparece como una persona que no resuelve preguntas, pero que ayuda a pensar; ciertamente no suele ser habitual una referencia de estas características en este tipo de alumnos. No obstante habría que considerar que los propios materiales de aprendizaje han sido diseñados y elaborados por el mismo profesor, aunque sean considerados como elementos independientes.

Los resultados recogidos en la Tabla 4.12 ponen de manifiesto el papel de las hojas de trabajo en la propuesta didáctica ensayada. De hecho, había fotocopias muy variadas: introducción a un tema, clasificación de conceptos, ampliación de conocimientos, hojas de ejercicios,... Parece, pues, que relacionarlas únicamente con una ayuda para contestar o entender las preguntas podía no ser coincidente con nuestras intenciones educativas.

Creemos que el auténtico papel que quisimos darle estaría más en la línea de extraer datos o de disponer de otro tipo de información que, incluso, como esbozan algunos alumnos, hiciera más asequible el aprendizaje de algunas estructuras conceptuales complejas de este módulo. Desde luego, en ningún momento, pretendimos utilizarlas como esquemas o resumen del tema por lo que nos sorprenden algunas de las contestaciones en este sentido.

P.34.- ¿Cómo os ayudan las fotocopias con información escrita?		
Ayuda a contestar las preguntas	Ej.: <i>Claro, a la hora de contestar varias preguntas, utilizas las fotocopias y te ayuda bastante. Parece que no, pero sí te ayuda</i> (Alumno 18)	7/24 (29%)
Aclara cosas para entender la pregunta	Ej.: <i>La leemos... Uno empieza a leerla claramente en el grupo para que los otros lo entiendan. El que la entiende va explicándola paso a paso</i> (Alumno 19)	6/24 (25%)
Sacas datos o te da información	Ej.: <i>Si la lees detenidamente sacas muchos datos que por ti mismo no los sacas. Si la lees muy rápido no te enteras; te lías como un ovillo de lana</i> (Alumno 24)	5/24 (21%)
Puedes consultar a posteriori	Ej.: <i>Las fotocopias siempre llevan... A mí me gusta tenerlo porque si estás en casa o algo y...es mejor tenerlo porque el la libreta sólo está lo que sabes</i> (Alumno 3)	4/24 (17%)
Son como resúmenes del tema	Ej.: <i>Sí, porque están resumidas las preguntas que hemos dado y sus explicaciones</i> (Alumno 22)	4/24 (17%)
No las leo siempre	Ej.: <i>Yo no me la leo siempre, sólo lo más importante</i> (Alumno 23)	3/24 (12%)
Otras respuestas		0/24

Tabla 4.12

Pensamos que el uso de documentos, en sí mismo, es un recurso interesante para la enseñanza de la Física (siempre que no sea el único). Además, los alumnos están bastante acostumbrados a ello por haber ocupado un lugar importante en la adquisición de los conocimientos escolares. Esto no implica que estén "acostumbrados" a utilizarlos en el contexto de nuestros planteamientos metodológicos pero sí parece favorecer que se acomoden rápidamente.

Hay casos aislados que reconocen no leer las fotocopias o le dan un valor limitado. Aunque no creemos que haya sido así, por lo menos de forma generalizada, puede suceder que en la presencia de otros recursos (trabajos prácticos, libreta, etc.) se relegue su papel. Otras veces las propias preferencias del alumnado hacen que le cueste más leer que hacer, elemento peligroso en cualquier propuesta didáctica.

Las respuestas de los alumnos recogidas en la Tabla 4.13, parecen plantear dos líneas mayoritarias: los que tratan de explicarlo mejor y los que apoyan sus opiniones con otros ejemplos, datos, informaciones,... Sin duda, el modelo que hemos tratado de enseñar ha sido el segundo, pero no siempre es fácil encontrar contraargumentos cuando el punto de partida que teníamos eran respuestas del tipo "porque sí", "porque lo digo yo",...

P.35.- Si consideras que alguno de tus compañeros de grupo está equivocado a la hora de analizar una información, unos datos o lo que sea ¿qué es lo que haces?, ¿cómo le demuestras que está equivocado?, ¿te enfadas si no se convence?		
Explicar lo que pienso	Ej.: <i>Yo trataría de convencerlos explicándole mi versión. Para convencer yo, digo por que creo que mis hechos son los verdaderos y los suyos no son ciertos del todo</i> (Alumno 35)	8/24 (33%)
Intentar convencerlo dando argumentos (ejemplos, datos, información,...)	Ej.: <i>Intentamos explicárselo, poniéndole algún ejemplo para explicarle que está equivocado. Como cuando hacemos la hipótesis para luego demostrar si son ciertas. Nosotros intentamos darle una explicación; no como antes decíamos "por que sí"</i> (Alumno 1)	6/24 (25%)
Intentar convencerlo discutiendo	Ej.: <i>Como usted dijo que no teníamos que ceder el brazo si sabíamos que estaba bien, pues entonces intento explicárselo a ellos, y ellos a nosotros, así nos vamos intercambiando ideas</i> (Alumno 19)	5/24 (21%)
Demostrar que sus opiniones son erróneas	Ej.: <i>Yo intentaría demostrarle que sus opiniones son erróneas y una vez que lo consiguiera, entonces le expondría mis opiniones</i> (Alumno 39)	3/24 (12%)
Otras respuestas		3/24

Tabla 4.13

En una situación un tanto ambigua estaría el convencer discutiendo pues, a la vista de las respuestas, se presta a varias interpretaciones. Resulta también curiosa la estrategia de centrar los esfuerzos en demostrar que las ideas del compañero están equivocadas y no en presentar la defensa de las propias.

Lo que hemos percibido y han recogido en sus contestaciones los alumnos ha sido la intensidad de los debates. Así, cuando planteábamos si se enfadaban o no, nos hemos encontrado respuestas como:

"Enfadarme no, porque no son cosas para enfadarse... pero, quizás, me impaciento un poco cuando ya se lo he explicado varias veces y dicen que todavía no lo han entendido..." (Alumno 18).

"Pues si no me convencen, cojo mi respuesta, la pongo en el papel y, cuando vamos a responder, mi grupo dice una cosa y yo digo otra. A mí a veces me cuesta trabajo convencerme y otras me convencen fácil, después de escuchar".

"Yo soy muy terco. Ahora soy más fácil de convencer y con más herramientas para convencer a los demás porque sé por donde tengo que tirar" (Alumno 42).

"Se lo meto en la cabeza diciéndole ¡Chacho que esto es así!, ¡Cómo va a ser lo que dices, si esto... tal!" (Alumno 45).

Aunque podríamos seguir añadiendo respuestas de este tipo, parece que son indicadores del clima de las discusiones. La verdad es que no es fácil en estos tiempos encontrar alumnos de estas edades en el aula, defendiendo sus conocimientos científicos con la fuerza y, muchas veces, con los argumentos que se han utilizado... Pero, desde nuestra experiencia, podemos decir que la implicación de los estudiantes en estos niveles de debate constituye un hecho relevante para el logro de otros objetivos educativos que son más valorados en la institución escolar.

Aunque la necesidad de sintetizar las respuestas nos ha hecho perder información, lo cierto es que globalmente se consideran muy positivos los resultados de la Tabla 4.14. Habría que señalar dos líneas: las que inciden en una mejora del rendimiento académico y las que inciden en aspectos más específicos de esta forma de aprender (aprender a dialogar, a hablar en público, a animarse,...).

P.36.- ¿Qué ventajas le ves a trabajar en grupo?		
Si no lo sabes tus compañeros te ayudan y tu puedes ayudar a otros	Ej.: <i>Pues yo le veo que lo que no sabe uno lo tiene el otro y lo poco que sabe uno y lo poco que sabe el otro lo van juntando; entonces van sacando la idea. Si uno va medio encaminado, el otro le puede ayudar</i> (Alumno 27)	13/24 (54%)
Aprendes a dialogar	Ej.: <i>Todos tienen la oportunidad de hablar, de dar su opinión. Además de tu idea escuchas más ideas y tu idea puede ser mala y te pueden convencer</i> (Alumno 16)	11/24 (46%)
Hay más opiniones que te ayudan a responder mejor	Ej.: <i>Es mejor porque si a lo mejor tu estás sólo y no se te ocurre nada, a los demás se les ocurre algo... Tu piensas algo, lo dices y luego los otros también dicen las ideas suyas... A mí me gusta porque hay emoción</i> (Alumno 48)	8/24 (33%)
Que los compañeros te explican mejor las cosas	Ej.: <i>Porque muchas veces no te enteras del asunto y les preguntas a tus compañeros y te lo dicen todo... Entonces te enteras del asunto</i>	5/24 (21%)
Que así no está el profesor soltando el rollo	Ej.: <i>No me gusta llegar a clase y que me suelten un rollo que me quede dormido</i> (Alumno 24)	5/24 (21%)
Aprendes a hablar en público	Ej.: <i>A mí me costaba mucho trabajo hablar en público, me ponía muy nervioso y esto me ha ayudado mucho</i> (Alumno 18)	3/24 (12%)
Que en grupo nos animamos	Ej.: <i>Porque, incluso, se anima y, si no tienes muchas ganas, te ayudan a tener ganas... sobre todo por las tardes</i> (Alumno 4)	3/24 (12%)
Otras respuestas		9/24

Tabla 4.14

Parece que los alumnos han interiorizado valores muy importantes como la adquisición de conocimientos en el marco de la Educación (solidaridad, cooperación, diálogo,...), muchas veces declarados en las intenciones educativas pero pocas trasladadas de forma clara a las acciones en el aula.

Nos han sorprendido un poco las respuestas como que "los compañeros te explican mejor las cosas". Creemos que lo que han querido plantear es un problema al que hemos hecho referencia: el alumno no se entera del qué se le pregunta, por qué tiene que hacer determinadas actividades,... En un contexto de desorientación es imposible favorecer un aprendizaje intencionado. No pensamos, sinceramente que haya sucedido esto en nuestro caso pero es un aspecto a considerar siempre, si no queremos obviar un elemento clave del aula: la comunicación profesor-alumno.

Por último, quisiéramos señalar la importancia que le dan al grupo en cuanto es rentable para aprender. Estas afirmaciones son interesantes pues contradicen la percepción de muchos profesores que creen que el trabajo en grupo no es de gran utilidad o que se debe plantear sólo en las actividades poco importantes para el desarrollo del programa.

Lo primero que habría que indicar respecto a la Tabla 4.15, es que muchos comienzan por decir que no encuentran inconvenientes. Es nuestra insistencia la que genera unas respuestas "un tanto forzadas". En líneas generales, se personaliza en algún compañero las dificultades encontradas. Este rol de crítico del grupo suele aparecer en procesos largos como el nuestro, en los que la composición de los grupos se estabiliza. Quizás, el efecto inicial de este tipo de alumno es muy beneficioso para fomentar la implicación y la participación pero, en algunos casos, puede resultar perjudicial a estas alturas de curso; pensamos que muchas veces puede existir una necesidad de protagonismo, en comportamientos de esta naturaleza y no un verdadero interés, lo cual genera situaciones incómodas.

P.36b.- ¿Qué inconvenientes le ves a trabajar en grupo?		
Dificultad para ponerse de acuerdo	Ej.: <i>Cuando estamos con Pepe, él hace la contra y nosotros que tal... Pero al final, se aclara todo</i> (Alumno 11)	11/24 (46%)
Falta de cooperación de algunos	Ej.: <i>Es que si no tienes ganas, puedes estar sin hacer nada, camuflándote en el grupo. Entonces ya no marcha el grupo</i> (Alumno 40)	4/24 (17%)
Otras respuestas		6/24

Tabla 4.15

Hay muchas respuestas que no han sido recogidas en la tabla 4.15 (por no ser respaldadas por más de dos alumnos) que queremos señalar:

"Que soy muy individualista y no me gusta trabajar en grupo" (Alumno 50).

"Que pierdes un poco el tiempo explicando cosas a los demás" (Alumno 35).

"Que si no hay continuidad en la asistencia te pierdes..." (Alumno 3).

El hecho de su poca presencia no implica que no las valoremos. En efecto, con independencia de otras respuestas, hay alumnos que se acomodan a esta dinámica de trabajo rápidamente pero, en otros casos, la inercia al trabajo individualizado es más acentuada. Si en estas entrevistas no se ha hecho tan patente, puede ser debido a que el módulo se desarrolló después de un periodo de adaptación suficientemente significativo para los alumnos pero, en los primeros que se abordaron, se hicieron más evidentes estos comportamientos individualistas.

El tema de la asistencia o, mejor dicho, del mínimo absentismo requiere también su comentario. Creemos importante que los alumnos perciban la necesidad de sus clases. En algunas ocasiones, los estudiantes no aprenden en su estancia en el aula; sólo recogen materiales para ser estudiados en casa... Esta circunstancia siempre la hemos tratado de evitar por razones obvias.

En primer lugar, habría que destacar que en todas las respuestas de la Tabla 4.16 subyace la necesidad de cuestionar la objetividad de los datos, con todo lo que ello lleva consigo. Es cierto que se sigue pensando en el "dato verdadero" pero ya es un logro el hecho de que se discutan los obtenidos experimentalmente, se tomen precauciones para contrastar la veracidad de los mismos, se admita la existencia de valores extraños,... Esta actitud es clave para entender el trabajo práctico de una forma diferente desde la perspectiva epistemológica: la actividad experimental no es objetiva absolutamente ni lleva a verdades universales.

P.37.- Cuando hacéis una experiencia en clase, obtenéis unos datos. ¿Cómo lo hacéis?, ¿cómo lo analizáis?, cómo averiguáis si un dato es bueno o no?.		
Tomar los datos varias veces	Ej.: <i>Cogemos varias medidas y, si son parecidas tienen que ser verdaderas a la fuerza</i> (Alumno 39). Ej.: <i>En algunas ocasión repetimos los datos para ver si son ciertos</i> (Alumno 35)	11/24 (46%)
Ordenar los datos para poderlos usar en otras cuestiones	Ej.: <i>Primero se ordenan, ordenamos todos los datos que tenemos y después depende de lo que pida la pregunta, cogemos los que hagan falta... Pero no los apuntamos de mala manera; se ordenan bien ordenados...</i> (Alumno 4)	9/24 (37%)
Comparar con otros grupos	Ej.: <i>Primero veríamos a ver si está bien o está mal... Pero primero los comprobaría con otros, porque tienes más probabilidades de estar bien 7 u 8 que tienen las mismas cifras, por ejemplo que lo mío solo</i> (Alumno 18)	6/24 (25%)
Discutir en pequeños grupos si son ciertos	Ej.: <i>Te pones a razonar los datos; a ver lo que ha pasao y luego en el grupo se comentan a ver si ha pasao de verdad o está mal hecha la experiencia</i> (Alumno 6)	6/24 (25%)
Discutir cómo lo hemos sacado, de dónde,...	Ej.: <i>Ordenamos los datos... antes ponemos lo que hemos medido, cómo lo hemos hecho... y no liar los datos para poderlos usar en otras cuestiones después</i> (Alumno 1)	4/24 (17%)
Revisar si salen raros	Ej.: <i>Se ve si son lógicos. Si es muy exagerao, si puede ser o no puede ser</i> (Alumno 30)	4/24 (17%)
Otras respuestas		4/24

Tabla 4.16

Por otro lado, las respuestas aluden a hechos que realmente hemos detectado en nuestra observación no-sistemática. Así, los alumnos suelen tomar los datos varias veces (normalmente tres) y discuten la idoneidad de los mismos. Es curiosa la afirmación de que si se repiten varias veces quiere decir que "a la fuerza es exacto".

También aparece de forma significativa el hecho de ordenarlos (en algunos casos se habla además de representarlos); hay que hacer notar que el aprendizaje de este contenido procedimental no es consecuencia exclusiva de este módulo, sino que se ha ido fraguando en los anteriores, desde el comienzo de curso.

Mención especial merecen aquellos que inciden en la reflexión misma sobre cómo lo hemos sacado, de dónde,... que pone de manifiesto una sensibilidad importante, bastante generalizada, sobre el rigor y la honestidad en la toma de datos. La percepción de que estos no son valores "para el profesor" sino "para nuestra experiencia" hace que se busque generalmente la coherencia completa de la misma y no el "éxito" momentáneo que después es difícil de interpretar.

La percepción del funcionamiento de los grupos, en ningún caso, es considerada como mala (ver tabla 4.17). En la mayoría se considera bueno, aunque se realizan matizaciones muy interesantes. Así, por ejemplo, algunos piensan que se podría trabajar algo más. Evidentemente esto es siempre una posibilidad, pero resulta llamativa la autoexigencia del alumno en esta y en otras facetas del proceso de enseñanza y aprendizaje. No obstante, como ya hemos señalado, el absentismo en Formación Profesional es grande y, a pesar de reconocer los propios alumnos que la clase de Física y Química "no se fuga", existen casos bastante localizados que no asisten con asiduidad y lógicamente esto influye en la dinámica de los grupos de trabajo en los que están implicados.

P.39.- ¿Cómo crees que es el funcionamiento de tu grupo?, ¿trabajáis todos de la misma manera?		
Bueno; todos participan o tomamos interés	Ej.: <i>Yo creo que bastante bien. En mi grupo, a la hora de hacer las puestas en común, los que más hablamos somos yo y el Barrera; el Nato y el Párraga son más callados pero hablan... Pero a la hora de hacer los ejercicios los hacemos todos. Cada uno con su rollo...</i> (Alumno 48)	7/24 (29%)
Normal; podríamos hacer algo más	Ej.: <i>Normal. Podría funcionar mejor pero normal. Hay quien puede hacer más y hay otros que se enrollan tanto...</i> (Alumno 39)	5/24 (21%)
Bueno; podríamos hacer algo más	Ej.: <i>Bueno. Aunque todo el mundo no hace lo que puede. Siempre hay uno o dos que destacan más en el grupo y son los que están hablando y llamando la atención; ¡eh, tú, venga!, ¡y tú que dices de esto?. Siempre hay uno que mete cizaña...</i> (Alumno 47)	4/24 (17%)
Bueno; a veces es uno el que sabe más y otros otro	Ej.: <i>Bueno, más o menos... A veces algunos saben más y van delante de los otros que sabemos menos y entonces son los que más ideas dan</i> (Alumno 30)	3/24 (12%)
Algunos faltan mucho	Ej.: <i>Últimamente peor porque un día falta uno, otro el otro y eso hace que te vayas perdiendo</i> (Alumno 50)	3/24 (12%)
Otras respuestas		3/24

Tabla 4.17

También se detecta que la composición de los grupos es heterogénea en cuanto a niveles de conocimiento. Esto también lo habíamos percibido pero lo asumimos ya que, lejos de limitarnos nos parece útil de cara a un contraste de ideas entre iguales. Creemos que el problema de la composición no se centra en quién sabe más o menos y en poner los "buenos" con los equivalentes (¿qué hacemos entonces con los que tienen dificultades?); el trabajo en grupo requiere fundamentalmente un ambiente, unas relaciones de comunicación, unos hábitos de debate,... y, sobre todo, personas con algo que decir (aunque sea equivocado) y esto curiosamente no suele darse con la homogeneidad de conocimientos en el grupo, bastante discutibles por otro lado.

Por último, aunque no vienen categorizadas, hay algunas valoraciones que aluden a que un compañero en concreto, es muy "cabezón" en las discusiones. Como ya dijimos anteriormente este rol puede generar más situaciones problemáticas que beneficios... pero posiblemente es tan inevitable como cualquier otro ("el pitagorín", "el manitas", ...) característicos en alumnos de estas edades.

Aunque en la mayoría de los casos de la Tabla 4.18 se alude al profesor, suele aparecer tras haber intentado otras opciones: volver a leer lo que se pregunta, consultar la libreta o las fotocopias, discutir en gran grupo,... De manera que éste no se percibe como alguien que da una respuesta sino que clarifica la pregunta. Este papel de organizador del aprendizaje implica un protagonismo colaborativo y no sólo como transmisor de conocimientos.

P.39a.- ¿Qué hacéis cuando no os ponéis de acuerdo o no se os ocurre una solución?.		
Llamar al profesor	Ej.: <i>Si no tenemos nada llamamos al profesor para que nos ayude, aunque siempre peleamos antes</i> (Alumno 40). Ej.: <i>Primero le preguntamos al profesor a ver por donde echamos y luego, con la pista que nos dé o lo que sea empezamos a buscar donde haya información</i> (Alumno 41)	14/24 (58%)
Escuchar al grupo de al lado	Ej.: <i>Pegar el oído al grupo de al lado a ver lo que dicen. Si no tienen ni idea ya nos dedicamos a perder el tiempo y nos damos por vencidos</i> (Alumno 4)	5/24 (21%)
Acudir a materiales (libreta, fotocopias,...)	Ej.: <i>Empezamos intentando buscar toda la información que podamos y, si tenemos las fotocopias, nos las leemos las veces que hagan falta pues, si no las entendemos no las hacemos</i> (Alumno 28)	5/24 (21%)
Esperar a la discusión con los demás grupos	Ej.: <i>Discutimos un poco y algunas veces esperamos la discusión del gran grupo</i> (Alumno 33)	4/24 (17%)
Otras respuestas		6/24

Tabla 4.18

Nos parecen sinceras las respuestas de "escuchar al grupo de al lado". Es cierto y hay que decir que, siendo un elemento un tanto distorsionador, creemos que no se ha generalizado hasta el nivel en el que se desvirtúa la esencia de la propuesta. En cualquier caso, hay que aclarar que ese "pegar el oído" se hacía tras contrastar en el pequeño grupo, después de una discusión en la que todos exponían sus argumentos y no había acuerdo...

También señalan la utilización de otros materiales. Nuestra interpretación es que ellos buscan más información; lógicamente la más directa es el profesor y después las libretas o las fotocopias, puestos en juego por el propio docente. Por lo tanto, en el fondo, se espera una solución externa y no fruto de una reflexión personal. Esto es comprensible si consideramos la tradición del estudiante en el sistema educativo. Requiere, por tanto, intervenciones didácticas reiterativas que vayan dando paso a hábitos diferentes de aprendizaje.

En el siguiente ítem nos ha parecido interesante ampliar el número de ejemplos, dado que las razones apuntadas en la justificación de la elección no son homogéneas; y se añaden unos matices de gran relevancia. En efecto, en la Tabla 4.19 se observa que una mayoría apunta a la necesidad de mayor información para formular hipótesis pero por diversos motivos: unos por considerar que es el paso previo para todo lo demás, otros porque se basan en conclusiones y problemas anteriores; y otros por las características propias del procedimiento. Creemos que el elemento común es la sobrevaloración (un tanto artificial) del mismo ya que las argumentaciones utilizadas no parecen reflejar un conocimiento sobre lo que se está preguntando.

P.40.- Entre la formulación de hipótesis, análisis de problemas y sacar conclusiones. ¿Cuál requiere más información?.		
Formular hipótesis	Ej.: Para hacer hipótesis, ya sacaremos conclusiones o analizaremos problemas. La hipótesis es el peldaño más alto, se necesita más información porque sacar conclusiones de donde las vamos a sacar no necesita información (Alumno 18). Ej.: Para hacer una hipótesis, porque antes tu has hecho unos problemas y has sacado conclusiones. Si no lo tienes antes no puedes llegar a ello (Alumno 24). Ej.: Para hacer una hipótesis, porque para ello necesitas tener unos conocimientos y saber, aunque sacar conclusiones es difícil (Alumno 23)	10/24 (42%)
Sacar conclusiones	Ej.: Sacar conclusiones, porque es el final del trabajo y para ello necesitas información. Si no, sería una hipótesis pues hasta que no tengas toda la información no puedes sacar conclusiones (Alumno 22). Ej.: Creo que para hacer una hipótesis no necesitas mucha información pues puedes hacerla... pensamos en lo que creemos para luego... Para sacar conclusiones tienes que echar mano de la información; cuando tu haces el experimento, ves lo que has hecho y la hipótesis que tu tenías. Para analizar un problema tienes que echar mano de alguna información también (Alumno 1)	5/24 (21%)
Analizar problemas	Ej.: Para analizar problemas, porque para hacer la hipótesis, tu tienes tu idea y no necesitas información de nadie. Para sacar conclusiones, como somos varios en el grupo, sacamos lo que más. Para analizar problemas necesitas saber por qué es esto, por qué lo otro, el contenido (Alumno 42)	4/24 (17%)
Sacar conclusiones y otro	Ej.: Sacar conclusiones es parecido a sacar hipótesis. Una hipótesis es decir esto es lo que pasa y demostrarlo. Y sacar las conclusiones lo has demostrado y estudiado. Para hacer una hipótesis hace falta información porque si no, no tendría mucho valor y para sacar conclusiones sin información y experimentos ni nada... (Alumno 50)	3/24 (12%)
Otras respuestas		2/24

Tabla 4.19

En cuanto a las respuestas que eligen "sacar conclusiones" también hay tendencias distintas: los que piensan que es un proceso final y, por lo tanto, que acumula toda la información anterior; y los que no le atribuyen ninguna importancia (sobre todo en el establecimiento de hipótesis). Parece que en todas las respuestas subyace la idea de que la formulación de una hipótesis tiene un carácter exclusivamente intuitivo, como si fuera una conjetura sin justificación. Esta percepción no es exclusiva de los alumnos y muchos profesores la transmiten en sus propuestas didácticas. No obstante, en algunos casos, la misma necesidad de aportar argumentos (sacar conclusiones, por ejemplo) lleva a una exageración en las justificaciones que no coincide con lo que verdaderamente se piensa.

Aunque la opción menos elegida ha sido el análisis de problemas, en todos los casos se apoya en la justificación de que, en las otras posibilidades, te puedes basar en una idea o en el trabajo en grupo; esto no guarda relación lógicamente con lo que se planteaba y ha sido muy difícil interpretar lo que hay detrás de dichas afirmaciones.

Globalmente los resultados son insatisfactorios, sobre todo porque los argumentos utilizados parece que reflejan un desconocimiento profundo de estos aspectos. Aunque somos conscientes de la dificultad de la pregunta planteada, creemos que en otras discusiones de clase los fundamentos han sido más coherentes. En cualquier caso, valoramos positivamente la existencia de bastantes razonamientos que son correctos y completos y, sobre todo, que utilizan un vocabulario poco extendido entre los alumnos de estos niveles educativos.

En este ítem habría que decir que las respuestas corresponden a 23 alumnos, por las razones aludidas en la descripción de la entrevista. Las acciones más generales, como se observa en la Tabla 4.20, son las de repetir la experiencia y, si coinciden los resultados, cambiar de idea. Aunque esto es reconocido por los alumnos, se corresponde con la realidad relativamente. En temas como el nuestro, con ideas poco estructuradas inicialmente, es posible que, en efecto, la modificación de las expectativas iniciales sea más fácil, pero no ocurre lo mismo cuando "lo esperado" está más asentado en la estructura cognitiva de los alumnos.

P.41.- ¿Qué hacéis cuando los resultados no coinciden con los que esperabais?		
Repetir la experiencia y cambiar de idea	Ej.: <i>Pues empezamos a darle vueltas al asunto, repetir la experiencia,... todas las soluciones y todo eso,... Repasamos a ver si nos hemos equivocado en algunos y, si no nos hemos equivocado y otra vez sale igual, nos convencemos que esa es la medida real, no lo que nosotros pensábamos (Alumno 35).</i> Ej.: <i>Cuando sale un resultado que no es lógico para mí, intento ver otra vez el ejercicio, pues no me lo creo hasta que a mí se me meta... siempre no voy a tener razón (Alumno 19).</i> Ej.: <i>Los repetimos, dos veces si hace falta, y si salía lo mismo nos quedábamos sorprendidos si no esperábamos eso. Si yo tenía una idea y he demostrado otra pues cambio de idea (Alumno 28)</i>	14/23 (61%)
Discutirlo en el grupo	Ej.: <i>Discutimos entre todos y ya, si uno sabe porque lo ha leído en un libro o algo, que ese dato está mal o no coincide con lo que tiene que tener que salir, duda y no sabe que responder. Pero si no sabes de que va la cosa sí puedes cambiar de idea, pero si no, no te fías (Alumno 42)</i>	5/23 (22%)
Buscar en qué hemos fallado	Ej.: <i>Nos planteamos ¿qué hemos hecho mal?, ¿cuáles han sido los fallos?, ¿cómo podemos solucionarlos?. Y si no podemos solucionarlos pues lo dejamos abandonado (Alumno 6).</i> Ej.: <i>Buscaríamos una buena respuesta, o sea que borraríamos las malas respuestas. Para cambiar las ideas es mejor una experiencia que el profesor (Alumno 40)</i>	5/23 (22%)
Otras respuestas		6/23

Tabla 4.20

Lo que sí parece asentada es la creencia de que, si no coinciden los resultados con lo esperado, hay algo que no encaja y que hay que buscar las causas. Esta toma de conciencia de que no siempre existe una coincidencia entre la hipótesis y los resultados en la Ciencia, resulta de gran importancia; incluso, el cuestionarse las propias experiencias realizadas supone un avance respecto a las concepciones empiristas tan habituales en estos niveles.

En cuanto a los que señalan las opciones de la "discusión en el grupo" o la "búsqueda del fallo", creemos que implícitamente están incluyéndose en la primera (replanteamiento de la experiencia). No obstante, en estos casos, no siempre se llega a reconocer, en positivo, la idea equivocada, haciendo alusión a hechos que requerirían un análisis más profundo (una experiencia tiene más valor que lo que dice el profesor, repetir los cálculos para ver dónde están los errores, cierta inseguridad,...).

Hay, sin embargo, algunas respuestas que nos han preocupado (sobre todo, porque no habíamos sido conscientes de la situación hasta ese momento). Así, un alumno dice que

"Cuando los datos no nos dan al corregir la pregunta... ¡uf!... Nos sentimos un poco... ¡Qué malos somos!" (Alumno 47); y otro afirma "Pues si los tenemos mal, tacharlos y... A veces ni escribimos" (Alumno 48).

Ciertamente son casos muy localizados, pero responden a una situación que no debe ignorarse en este tipo de metodología: cuando las actividades del profesor pasan a ser acciones de los alumnos, existe una multiplicación afectiva que está condicionada por el éxito y la autoestima del propio estudiante. Ya no sólo se trabaja para un rendimiento académico sino para la propia satisfacción personal.

En el siguiente ítem se refleja la importancia implícita que tiene la libreta desde la perspectiva del aprendizaje de los alumnos. Como se apuntan en un buen número de las respuestas recogidas en la Tabla 4.21, es lógico que no aparezcan elementos de una gran riqueza como son las discusiones, los debates, los ejemplos, las anécdotas,... pero la necesidad creada de utilizar este recurso lleva consigo otros valores como la reflexión, la síntesis, la selección de lo importante,...

P.42.- ¿Hay diferencias importantes entre lo que comentáis en el grupo y lo que registráis en la libreta?		
Sí, porque sólo ponemos las conclusiones	Ej.: <i>En la libreta reflejamos la conclusión final de lo que reflejamos en grupo, pero lo que hemos hablado (el debate) nosotros no lo ponemos casi nunca, aunque podían ser interesantes; por gandulería, para no escribir tanto (Alumno 1).</i> Ej.: <i>Lo importante lo ponemos. Alguna cosa se escapa porque si no tendríamos la libreta mejor... (Alumno 11)</i>	13/24 (54%)
No, porque ponemos lo que hablamos en el grupo	Ej.: <i>No. Incluso, ponemos juntos lo que hemos dicho con palabras más o menos casi exactas, de lo que hemos dicho a lo que ponemos en la libreta (Alumno 45).</i> Ej.: <i>Cuando estamos todos de acuerdo ponemos siempre eso. Se intenta poner mejor, con más inspiración... Nosotros hablamos y con pocas palabras nos entendemos, pero luego hay que ponerlo bien explicado en la libreta... Esperamos a discutirlo y después, cuando hemos llegado a una idea clara, lo ponemos todos (Alumno 16).</i>	8/24 (33%)
No, porque pongo lo que dice el profesor, ejemplos, algún debate, ...	Ej.: <i>En la libreta, al principio de curso no le daba importancia; cogía las fotocopias y las pegaba; ponía la respuesta... Ahora la tengo ordenada, con las hojas bien pegadas; pongo comentarios de clase, las explicaciones del profesor, algún debate,... (Alumno 4)</i>	6/24 (25%)
Sí, porque pongo lo que yo pienso y no sólo lo del grupo	Ej.: <i>Yo en la libreta no suelo poner lo que dicen todos. Suelo poner lo que digo yo y lo que dice la hipótesis final que saquemos... Suelo poner lo que yo pienso; ¡eso siempre!. A lo mejor estoy equivocado pero... siempre lo corrijo (Alumno 24)</i>	4/24 (17%)
Sí, porque no es lo mismo hablar que escribir	Ej.: <i>Lo que hablamos no aparece... Además, cuando dice haz un pequeño resumen, se te olvidan cosas... (Alumno 42)</i>	4/24 (17%)
Otras respuestas		3/24

Tabla 4.21

No obstante, ha existido también una evolución pues inicialmente, como reconocen algunos alumnos, el cuaderno de trabajo no tenía la misma significación que a estas alturas del curso. También se observa en algunos casos que, en los grupos heterogéneos, se favorece la presencia de las aportaciones individuales aunque, en menor medida, de lo que se proyecta en algunas opiniones de los alumnos.

Hay algunas respuestas interesantes que queremos recoger:

"Lo que escribes en la libreta se te queda en la cabeza. Como lo has escrito tú, no es como si fuera dictándote alguien o leyendo un libro. Es cosa que te vas sacando de la cabeza y se te queda mejor... (Alumno 48).

"... Yo llego a mi casa y me caliento la cabeza... por lo menos, últimamente. Me tienes negro con la libreta. Intento sacar lo máximo posible para intentar completarla..." (Alumno 24).

"... Yo las hojas no las pego en la libreta, porque la libreta la quiero para estudiar y no para ver las preguntas..." (Alumno 4).

Como puede verse, una característica común es la valoración que se hace de la misma en el proceso personal de aprendizaje. No se hacen muchas referencias a que se utilice para recoger las ideas del profesor, sino para las creencias del grupo o las propias; de ahí la importancia que tiene en nuestra propuesta.

En relación con los ítems 43 y 48, lo primero que habría que señalar es la unanimidad a la hora de contestar afirmativamente la pregunta (Tabla 4.22).

P.43 y P.48.- ¿Te gusta la clase de Física y Química de la manera que la estamos dando?. ¿Te sientes a gusto en clase?		
Sí, por no ser la típica (profesor, apuntes y pizarra)	Ej.: <i>A mi sí, porque no es igual que otras clases que llegan, te sueltan el rollo y, si te enteras, bien pero si no... te aguantas... Aquí es muy difícil que no te enteres...</i> (Alumno 16) Ej.: <i>Porque estás a gusto; se hacen las cosas agradables. En otras clases te sueltan un rollo y no te enteras de ná. A lo mejor el primer cuarto de hora o treinta minutos te enteras de algo pero, a partir de ahí, desconectas y no te enteras de nada porque te meten materia a puñetazos</i> (Alumno 33)	15/24 (62%)
Sí, porque hay debates en grupo	Ej.: <i>... En este método no te aburres porque tu estás hablando; es como si tu dieras la clase... tú estás hablando con tu grupo. A mi me gusta el debate porque dices alguna cosa y estás discutiéndolo ahí, y al final se saca mejor y te lo pasas bien</i> (Alumno 48). Ej.: <i>Porque en vez de hablar el profesor, hablamos nosotros, entre nuestro grupo y tal...</i> (Alumno 11)	10/24 (42%)
Sí, porque motiva asistir a clase	Ej.: <i>Normalmente sí me gusta la clase. Es que te sientes superenrollao</i> (Alumno 6)	10/24 (42%)
Sí, porque toda la clase participa	Ej.: <i>Es una clase en la que participas... Yo esperaba que la Física y Química me iba a quedar; que eran clases muy difíciles, que no me iban a entrar...</i> (Alumno 27)	5/24 (21%)
Sí, porque hay experiencias	Ej.: <i>... Porque hacemos alguna práctica y no tenemos que estar siempre ahí... estudiando</i> (Alumno 41)	5/24 (21%)
Sí, porque aprendes sin esforzarte	Ej.: <i>... No hay que empollar porque a la hora de estudiar es como más fácil. Piensas en lo que has hecho en clase, en cómo lo has hecho...</i> (Alumno 3)	4/24 (17%)
Sí, porque aprendes haciendo cosas	Ej.: <i>Porque si se tirara toda la hora explicando y eso, no sería clase; sería un rollo macabeo. Sin embargo así, estás entretenido, haciendo cosas... y así aprendes</i> (Alumno 35)	4/24 (17%)
Sí, porque podemos hablar, exponer nuestras ideas,...	Ej.: <i>De las clases que estamos dando este año es la mejor; sobre todo porque podemos hablar más en clase, exponemos nuestras ideas... y eso es interesante</i> (Alumno 40)	4/24 (17%)
Sí, porque me siento libre	Ej.: <i>Me siento libre porque no tengo la figura del profesor dictador exigiéndome silencio</i> (Alumno 50)	4/24 (17%)
Otras respuestas		6/24

Tabla 4.22

Si bien esto avalaría, por sí solo, un porcentaje importante de la justificación de la propuesta, lo verdaderamente interesante son los argumentos que respaldan las contestaciones, muchos de los cuales proyectan una visión preocupante de la enseñanza de ésta y de otras materias curriculares. Así, se realizan expresiones como:

"... Porque en esta asignatura tienes que calentarte la cabeza" (Alumno 1).

"... Porque no se parece a una clase..." (Alumno 30).

"... Porque no sufro cuando tengo que ir..." (Alumno 47)".

"... *Vamos a terminar esto, que va a tocar el timbre y ¡que asco!, ahora para fuera con lo a gusto que estoy aquí...*" (Alumno 45)

Sin duda, reflejan un clima diferente que, en una valoración objetiva, nos hace sentirnos satisfechos con la dinámica planteada.

En esta Tabla 4.22 se puede observar también que mayoritariamente existe la percepción de que no es una clase típica en la que el profesor explica en la pizarra y los alumnos toman apuntes y estudian en su casa. Hay, además, conciencia de que se aprende, de que existe una motivación, de que se entretienen,... en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Es curioso que la realización de experiencias no tenga tanto impacto como el trabajo en grupos, por ejemplo. Hemos visto muchas veces cómo se supervaloraban los trabajos prácticos por los alumnos por razones que no tienen que ver con su aprendizaje, sino con la necesidad de dar una alternativa a algo que les aburría. En nuestro caso, no parece que esto haya mediatizado esta creencia.

En casos muy concretos y dentro de un contexto de valoración global positiva, se han aludido a algunos aspectos "críticos":

"... *hay veces que, cuando tienes muchas clases antes, estás cansado*" (Alumno 4).

"*Estoy a gusto excepto cuando tengo a Octavio al lado*" (Alumno 24).

"... *al principio, estaba un poco receloso...*" (Alumno 23).

Pero, están muy localizados y no responden a ninguna pauta que pudiera preocuparnos por su nivel de generalización. En definitiva, parece que hemos favorecido que el alumno se encuentre a gusto aprendiendo y, lo que es casi tan importante, que se dé cuenta de ello. Nos quedamos con una frase de un alumno que decía :

"*Yo creo que para aprender tienes que querer aprender. Aprende más el que quiere que otra cosa. Tienes que tomarlo por ti mismo y no tienen que imponértelo*" (Alumno 50).

Habría que señalar que, a la vista de las respuestas dadas al ítem anterior, no se planteó este interrogante a todos los alumnos para no ser reiterativos. En cualquier caso, hubo una repetición en los argumentos expuestos que completan una percepción global muy positiva respecto a nuestra propuesta (Tabla 4.23).

P.44.- ¿Qué ventajas le ves a esta forma de dar la clase?		
Aprendes más y más fácilmente	Ej.: <i>Se aprende más y es más fácil, porque hay más ayuda por parte del profesor y siempre de los alumnos; siempre se ayudan unos a otros en el grupo; en las fotocopias hay mucha información y yo creo que está bien, que ayuda bastante</i> (Alumno 28)	6/18 (33%)
Puedes hablar con los compañeros	Ej.: <i>... Y así de esta manera ya tu le puedes hablar a tu compañero normalmente que no te va a llamar el profesor la atención ni nada. En otras clases, tu tienes tu ejercicio y el otro el suyo y, si le preguntas, te llaman la atención</i> (Alumno 41)	5/18 (28%)
No tienes que aguantar el rollo	Ej.: <i>En Física y Química no te duermes y en las otras sí, porque cada dos por tres estás diseñando experiencias, estás participando en clase, hablando,... Sin embargo, en otras asignaturas empieza a hablarte y acabas durmiéndote</i> (Alumno 39)	5/18 (28%)
Se estudia en clase	Ej.: <i>Yo Física y Química no la estudio; llego a clase, intento comprenderla y después... ya</i> (Alumno 22). Ej.: <i>Con este procedimiento no tienes que empollar</i> (Alumno 40)	5/18 (28%)
Otras respuestas		6/18

Tabla 4.23

Vuelven a aparecer en esta Tabla 4.23 las afirmaciones de que se aprende más y más fácilmente e, incluso, que se aprende en clase. Es curiosa esta última valoración en un contexto escolar, que prioritariamente tiene, como razón de ser, que los alumnos aprendan lo más posible y no que recojan materiales para aprender fuera del aula. Este aspecto desgraciadamente se ha generalizado, no sólo en las clases de Física y de Química, y el tiempo se dedica sólo a enseñar con las consiguientes consecuencias (demasiados contenidos para estudiar, pocos aprendizajes significativos, absentismo en épocas de exámenes, etc.).

Nos llama la atención la insistencia en que "se puede hablar". Parece que la existencia de silencio garantizara la receptividad de los estudiantes, cuando lo que se insiste, desde la literatura científica, es en la necesidad de que el que aprende participe activamente en el proceso.

Hay otras aportaciones que, aunque minoritarias, también llaman la atención:

"... Te acostumbras, cuando vas a hacer algo, a pensarlo. En el sistema tradicional se estudian las cosas de rutina y, al cabo de dos días, se te olvidan" (Alumno 6).

"Aquí tienes que calentarte la cabeza y eso no es un inconveniente" (Alumno 4).

"... Sin embargo, así vamos haciendo nosotros la clase; no la hace el profesor; la vamos haciendo entre todos..." (Alumno 45).

Creemos que resultan muy significativas para tener una visión aproximada de lo que supone para los estudiantes.

Como puede verse en la Tabla 4.24, los inconvenientes tienen menor presencia que las ventajas; incluso, un porcentaje importante explícitamente dicen que ninguno. En algunos casos, parece que se aluden aspectos concretos, casi por muestra insistencia. Sin embargo, entre estos, destacaríamos los condicionamientos del trabajo en grupo. Como se ha dicho en otros ítems, la tradición individualizada del aprendizaje no es fácil de compaginar con el contraste de ideas. Esta innovación, cómo cualquier otra, supone un periodo de adaptación, no inmediato, que puede abarcar más de un curso académico; sobre todo, si sólo se realiza en una materia aislada del currículum.

P.44a.- ¿Qué inconvenientes le ves a esta forma de dar la clase, con respecto a las demás?		
Ninguno	Ej.: <i>Ninguno. Lo tiene todo a favor. Si todas las clases se dieran de esta manera, yo creo que se aprendería mucho más</i> (Alumno 33)	8/18 (44%)
Depende de otros compañeros	Ej.: <i>Algunas veces, cuando no estamos de acuerdo, empezamos todos a discutir y al final casi siempre llegamos a una conclusión pero, cuando no llegamos ¡puff!... cada uno piensa una cosa y que no se le mete en la cabeza</i> (Alumno 16)	5/18 (28%)
Das menos materia pero la entiendes	Ej.: <i>Das menos temas que de la otra manera pero yo creo que merece la pena, porque es que si das muchos temas y la mitad no los entiendes, ¿para qué quieres darlos?</i> (Alumno 27)	4/18 (22%)
Otras respuestas		4/18

Tabla 4.24

Nos han llamado la atención las afirmaciones referidas a que se imparte menos materia y la coherencia de los alumnos en su valoración. En efecto, la propuesta exige un mayor tiempo que otras, en las que lo importante no es que el alumno aprenda sino que se cumplan los "hipotéticos programas". Creemos que la dicotomía cantidad-calidad no es tal, puesto que el interrogante hay que plantearlo en el equilibrio entre los contenidos académicos que el profesor pone en juego y los aprendizajes que se dan en el alumno. Pero, además de los conceptuales, en nuestro caso, habría que considerar los conocimientos procedimentales incluidos en la propuesta...

Una afirmación minoritaria pero interesante la aporta uno de los alumnos:

"El mayor inconveniente es que el profesor tiene que trabajar más; que no es coger un libro y empezar a dictar que es muy cómodo... Aquí se dan cosas que yo creo que trabaja más que otros profesores porque se molesta en hacer fotocopias, en preparar aparatos..." (Alumno 23).

También en el ítem 45, se obvió la pregunta en dos casos al quedar solapada la respuesta a otras de la entrevista. Todos reconocen, como se aprecia en la Tabla 4.25, que han aprendido de esta manera, aunque lógicamente las justificaciones son diferentes. Esta situación de ser conscientes de su aprendizaje, supone un logro cognitivo de gran importancia y que respaldó el uso de la fase de Revisión en nuestra propuesta. Creemos que, en sí mismo, supone otro elemento clave para defender la utilidad del proceso.

P.45.- ¿Crees que has aprendido cosas de esta manera?. ¿Cómo lo notas?		
Sí, aprendo porque no se me olvidan las cosas	Ej.: <i>En Física y Química se te queda todo metido en la cabeza al final de año; sobre todo aquí tienes que aprender a razonar y no tanta fórmula (Alumno 4).</i> Ej.: <i>Creo que sí; mucho más que en otras clases porque ahora mismo, por ejemplo, me acuerdo de lo que dimos en la primera evaluación y de las otras asignaturas no (Alumno 40)</i>	7/22 (32%)
Sí, porque he aprendido a expresar mis ideas	Ej.: <i>Una de las cosas que me ayuda a aprender es el discutir las preguntas y sacar la conclusión en el grupo; eso me ayuda un montón (Alumno 33)</i>	6/22 (27%)
Sí, aprendo porque tengo que razonar	Ej.: <i>Porque cuando tu la entiendes y lo has experimentado, eso nunca se te olvida, pero si te pones en una mesa a estudiar... Mis armas son los argumentos, saber más sobre ese tema, explicarme mejor,... (Alumno 50).</i>	5/22 (23%)
Sí, porque aprendo cosas de la calle	Ej.: <i>Sí. ¡Es que lo ves!... Yo que sé. Ya relacionas lo que ves realmente con la Física. En vez de quedarte sólo en lo que ves, piensas un poco más en lo que pase (Alumno 30)</i>	4/22 (18%)
Sí, aprendo porque el año pasado no aprendí nada	Ej.: <i>El año pasado cogíamos la libreta que la teníamos delante y, al final, terminabas por no entrar en clase, que es lo que nos pasó a nosotros (Alumno 11)</i>	3/22 (14%)
Otras respuestas		4/22

Tabla 4.25

Entre las afirmaciones, se recogen algunas referidas a la retención de la información dados los diferentes estímulos que reciben (experiencias, debates, fotocopias,...). Sin duda, la pluralidad de situaciones de aprendizaje favorece que el alumno busque relaciones entre lo que sabe o le interesa, y los nuevos conocimientos.

Otras de las justificaciones se centran en el desarrollo de la capacidad de verbalización de los conocimientos. La importancia dada a los debates, no sólo por nosotros sino por los propios alumnos, se vuelve a proyectar en estas opiniones. Hay que valorar un aspecto que quizás pase algo desapercibido: han valorado la utilidad para comunicarse con los compañeros y no con el profesor (en los exámenes, por ejemplo).

También nos parece interesante que perciban que han aprendido porque es útil fuera de la institución escolar. La transferencia del aprendizaje no es un "aspecto añadido" sino que ocupa un lugar fundamental. Posiblemente la escasa relación entre los conocimientos escolares y los problemas cotidianos es una asignatura pendiente del sistema que debe afrontarse, incluso en la selección de contenidos.

Algunos alumnos repetidores aportan también su percepción comparativa respecto al curso anterior. Hay que añadir el comentario de uno de ellos, que decía que

"Si no nos gustara la clase no entraríamos, pero como nos gusta pues yo no he faltado a ninguna" (Alumno 48).

Pero, en dos casos, se llega a reforzar algunas de las consideraciones apuntadas

"...tenta ideas equivocadas que, al final, han ido saliendo" (Alumno 19).

Parece claro, a la vista de las respuestas recogidas en la tabla 4.26, que la dificultad más señalada es la libreta, aunque por dos motivos diferentes: la constancia en el trabajo para llevarlo al día y la propia dificultad en la concreción de las ideas que iban saliendo en el proceso. Creemos ciertamente que es muy complejo, sobre todo cuando no hay costumbre, tratar de explicitar por escrito una idea pero, si ésta hay que extraerla de un contexto de debate, el problema se multiplica. Aunque hemos tratado de ir clarificando las conclusiones más relevantes, es posible que no siempre todos lo hayan percibido así. En cualquier caso, es un aspecto de difícil tratamiento.

P.46.- ¿Cuáles son las mayores dificultades de esta clase?		
La libreta	Ej.: <i>Llevar la libreta al día y bien hecha, con sus comentarios. Como no estoy acostumbrado a poner comentarios, me cuesta. A lo mejor se está hablando en clase o en el grupo y sale una idea o algo, no lo apunto y se me olvida (Alumno 28).</i> Ej.: <i>Para mí lo más difícil es la libreta... Intento hacerlo bien pero es que tienes que ponerlo para que te sirva para estudiar y poner las cosas claras, explicándolo bien todo lo que haces paso a paso (Alumno 16)</i>	10/21 (48%)
El trabajo en grupo	Ej.: <i>La exposición de tu idea. Aunque ahora menos, al principio de curso, como no conoces a los compañeros te da más corte (Alumno 23).</i> Ej.: <i>Participar en el grupo (Alumno 33)</i>	7/21 (33%)
El diseño de experiencias	Ej.: <i>El diseño de experiencias al principio cuesta un poco pero, una vez que has hecho unas cuantas, es fácil (Alumno 50)</i>	3/21 (14%)
Los exámenes	Ej.: <i>Yo creo que es el siempre el por qué, esto por qué y dices algo y entonces tienes que desarrollarlo más; como no estábamos acostumbrados (Alumno 30)</i>	3/21 (14%)
Otras respuestas		3/21

Tabla 4.26

También el trabajo en grupo ha podido tener sus dificultades; creemos que, en gran medida, por la falta de hábito. Sin embargo, suelen aludir a los instantes iniciales y reconocen un cierto asentamiento a estas alturas de curso. En casos muy concretos, se proyecta la heterogeneidad apuntada en otros ítems de la entrevista.

Quisiéramos destacar una afirmación realizada por uno de los alumnos:

"Lo más difícil es estudiar, entendiendo lo que se estudia. La Física no es estudiar, es entender y demostrar que lo sabes" (Alumno 22).

Creemos que es suficientemente interesante.

Pero, en general, las críticas realizadas se ven más como aspectos positivos, ya que reflejan la importancia que se le ha dado a la asignatura en el Curriculum. En este sentido, se hacen alusiones constantemente a las diferencias respecto a otras materias.

Una vez que hemos llevado a cabo este análisis individualizado de cada uno de los ítems de esta parte de la entrevista y a la vista de las respuestas dadas por los alumnos, nos parece interesante llevar a cabo una reflexión a nivel general, especialmente sobre una serie de cuestiones que parecen repetirse a lo largo de la misma o que a nuestro modo de ver la impregnan.

En primer lugar, destacaríamos la gran sinceridad de las respuestas, que creemos que pone de manifiesto la buena relación que existía entre profesor y alumnos. Esta cuestión que, a nivel intuitivo ya habíamos detectado en el aula lógicamente a lo largo del curso, queda demostrada de forma más que evidente en la forma en la que contestaban.

La extensión y riqueza de las respuestas parece indicar por un lado una gran tranquilidad y por otro la existencia de una empatía entre sus intereses y las características de la propuesta didáctica que hemos utilizado. Hay

que recordar que los estudiantes a estas edades suelen ser parcos en palabras, tanto más cuando hablan con un adulto y sobre un tema en el que este es experto; nada de esto parecía producirse en nuestras entrevistas, hasta tal punto que los alumnos en muchas ocasiones se extendían excesivamente, lo que luego dificultó la transcripción de las mismas.

De las respuestas parece deducirse que los alumnos han entendido, no sólo la parte formal de la propuesta, sino el fondo del mismo. Se observa en las contestaciones la asunción de las claves y del espíritu del proceso; en todo momento le confieren importancia a todos aquellos elementos que lo eran para nosotros inicialmente: el debate, el cuaderno de trabajo, el programa-guía, el trabajo en equipo, el aprendizaje entre iguales, la participación, etc.

Se detecta en las respuestas un acercamiento al concepto de aprendizaje, alejado de la mera necesidad de aprobar la asignatura. Los alumnos establecen la relación entre lo que están trabajando en clase y la acción de aprender; asumen la necesidad de que dicho aprendizaje se produzca y le confieren carácter de utilidad. Parece asimismo que los alumnos establecen diferencia entre "dar materia" y aprender; estableciendo claramente la relación entre calidad y cantidad respecto a la materia trabajada en el aula.

Respecto a la propia dinámica del trabajo diario hay que destacar la gran importancia que los alumnos conceden al trabajo en equipo, tanto globalmente como a cada uno de los elementos que le son consustanciales, destacando entre estos la predisposición que tienen al dialogo y la necesidad de que "los convenzan", pero como ellos dicen, con razones. Nos parece importantísimo que los estudiantes de la muestra hayan llegado a semejante conclusión, que lógicamente constituía uno de nuestros principales objetivos.

En cuanto al papel del profesor, los alumnos parecen atribuirle unas funciones más acordes con las que nosotros entendemos que ha de tener, es decir que entienden que no es sólo el profesor el que enseña y por tanto no es a él al único al que han de dirigirse para solucionar sus problemas, sino que lo ven como alguien que puede contribuir a su aprendizaje, pero más en su papel de orientador y de organizador que de "contestador automático de preguntas".

Se observa también, en la mayoría de las respuestas que las opciones elegidas son lógicas y coherentes, dejando entrever según nuestro punto de vista una estructura consistente, hasta tal punto que nos parecen sumamente cercanas a las que teóricamente daría una persona de mayor edad y formación. Consideramos que la forma de abordar los problemas a lo largo de todo el curso, en donde abundaban los debates y las explicaciones, ha podido contribuir a ello.

Parecen asimismo asumir la importancia que tiene su propia contribución, activa y constructiva, en el proceso de aprendizaje. Consideramos que el buen clima que existía en el aula, la relación que siempre procurábamos establecer entre los contenidos de la asignatura y la vida cotidiana de los alumnos, pudo contribuir a ello.

C.4.4.2 Conclusión de la Subhipótesis Tres (SH2.3)

Después de haber analizado las respuestas de los alumnos en la segunda parte de las entrevistas, podemos aceptar como verdadera la Subhipótesis Tres (SH2.3) que decía:

La aplicación en el aula de la metodología ensayada es valorada por los estudiantes de forma satisfactoria de cara a sus aprendizajes.

C.4.5. CONCLUSIÓN DE LA HIPÓTESIS PRINCIPAL DOS (HP.2)

Después de haber analizado los resultados de los cuadernos de trabajo de los alumnos y sus respuestas en las dos partes de las entrevistas, así como el estudio de la homogeneidad de aplicación de la propuesta ensayada, podemos aceptar como verdadera la Hipótesis Principal Dos (HP2) que decía:

La aplicación en el aula de la metodología ensayada favorece una evolución positiva de los conocimientos de los alumnos, respecto a las Ondas, al Sonido y a la Luz y, además, es valorada por los estudiantes de forma satisfactoria de cara a sus aprendizajes.