

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

CAPÍTULO V

En este Capítulo 4 nos centramos en el estudio de la Hipótesis Principal Tres de nuestra investigación, que gira en torno a la evaluación final de los conocimientos que ha generado nuestra metodología. Como ya justificamos en su momento, se distinguen dos momentos: al término de nuestra intervención y al cabo de nueve meses desde la misma. Genéricamente hablaremos de evaluación próxima y retención.

Empezaremos con la descripción de los resultados obtenidos en la prueba final de contenidos conceptuales y experimentales, explicitando cuáles son los esquemas conceptuales de los alumnos en la línea de lo que realizamos en el estudio de las condiciones iniciales. También analizaremos las respuestas dadas en la escala de actitudes hacia las Ciencias y los científicos pasada al finalizar la experiencia. Posteriormente estudiamos las características psicométricas de los instrumentos diseñados para esta investigación, incidiendo en la fiabilidad, dificultad, discriminación y validez que se exige desde la literatura científica. Por último, abordaremos el tema de la retención a partir de las contestación realizada por los alumnos a la prueba configurada al efecto.

Aunque es difícil sustraerse a un contraste con los resultados de partida (Capítulo 3), trataremos de dejar este aspecto para la discusión de la Hipótesis Principal Cuatro que se ocupa de ello.

C.5.1 HIPÓTESIS PRINCIPAL TRES: RESULTADOS FINALES DE LA INVESTIGACIÓN

La Hipótesis Principal Tres (HP3) decía:

Los conocimientos de los alumnos, respecto a las Ondas, al Sonido y a la Luz, después de la aplicación de la metodología ensayada, son más estructurados y han mejorado manifiestamente desde el punto de vista científico. Estos conocimientos permanecen estables al cabo de un cierto tiempo.

Dicha hipótesis está desarrollada en una serie de subhipótesis (SH) que trataban de estructurar el estudio de las condiciones finales en relación con los conocimientos de los alumnos respecto a los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales; pero también se incidía en qué queda de lo aprendido al cabo de un cierto tiempo. Para ello, se les pasaron las pruebas descritas en los apartados 2.4.3 y 2.4.4, además de repetir la aplicación de la señalada en 2.4.1.3. Las subhipótesis eran:

Subhipótesis Uno (SH.3.1): Los conocimientos de los alumnos respecto a los contenidos conceptuales y procedimentales de las Ondas, Sonido y Luz, después de la aplicación de la metodología ensayada son más estructurados y han mejorado manifiestamente desde el punto de vista científico.

Subhipótesis Dos (SH. 3.2): Las actitudes de los alumnos, respecto a la Ciencia en general y a los científicos en particular, después de la aplicación de la metodología ensayada, pueden considerarse favorables para propiciar el aprendizaje de conocimientos científicos.

Subhipótesis Tres (SH.3.3): Los instrumentos de evaluación utilizados en las pruebas finales de nuestra investigación reúnen las condiciones exigibles desde la literatura científica.

Subhipótesis Cuatro (SH.3.4): Los conocimientos de los alumnos sobre las Ondas, Sonido y Luz son estables al cabo de un cierto tiempo.

C.5.2 RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA S.H.3.1: PRUEBA FINAL DE CONTENIDOS CONCEPTUALES Y PROCEDIMENTALES

En la descripción de los resultados de la prueba final hemos distinguido los contenidos conceptuales y los esquemas derivados de los mismos. La realizada ítem por ítem se basaba, igual que en las pruebas iniciales, en el establecimiento de las características más singulares de las respuestas que dieron los alumnos y la posterior elaboración de conclusiones generales. De la misma manera, también hay que indicar que en los casos en los que lo considerábamos conveniente, hemos incluido las respuestas textuales de los alumnos.

En la misma línea de las pruebas iniciales, hemos indagado en los esquemas que subyacen en las respuestas de los alumnos en los diferentes tópicos que se señalaron: magnitudes ondulatorias, propagación, reflexión, refracción,...del sonido y de la luz, sombras, visión,... Como ya dijimos, esto nos permite también dimensionar los resultados para poder contrastarlos en la hipótesis principal cuatro.

Para determinar los datos necesarios para llevar a cabo el estudio cuantitativo de los resultados hemos utilizado los instrumentos descritos en el capítulo 2. Con los datos obtenidos y utilizando el paquete SYSTAT, hemos determinado los estadísticos básicos (media, nº de casos, máximo, desviación típica, etc.), que posteriormente nos han de servir para compararlos con los datos de los resultados de las pruebas iniciales de contenidos conceptuales y procedimentales.

C.5.1.1 Descripción de los resultados de la prueba final de contenidos conceptuales

Como dijimos en el apartado 2.4.3, la prueba final de contenidos conceptuales y procedimentales constaba de veinte ítems que habían sido seleccionados entre preguntas, cuestiones, actividades,... que se presentan en diversos libros de texto. La mayoría de los alumnos contestaron a casi todos los ítems, por lo que podemos suponer que eran preguntas que ellos consideraban asequibles, al menos inicialmente. El vaciado se realizó de acuerdo con los criterios que aparecen en el Anexo 7. Pasamos, pues, a describir las características más relevantes de las respuestas en cada ítem.

a) Respecto al ítem 2 (*Diseña una experiencia para comprobar que el sonido es un movimiento uniforme*).

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 38. De estos, 31 realizaron realmente un diseño, aunque 9 de ellos lo hicieron sobre algo que no estaba realmente relacionado con lo que se pedía, probablemente por no haber identificado claramente el problema.

- Los 22 que realizaron el diseño de forma adecuada pueden dividirse en dos grandes grupos. En el primero (13/22) la respuesta -que denominaremos de tipo 1- consistía fundamentalmente en la siguiente:

Una persona emite un sonido a la vez que emite una luz, y varias personas colocadas a diferentes distancias miden el tiempo que tardan en escucharlo; se anotan los datos y se calcula la velocidad del sonido respecto a cada una de las personas, si los cálculos posteriores de las velocidades coinciden, es que el movimiento del sonido en el aire es uniforme.

Todo ello iba acompañado de una serie de precauciones que eran imprescindibles para la correcta realización del experimento, tales como que "los relojes estuvieran sincronizados", que "empezaran a funcionar al ver la luz y terminaran al oír el sonido", que "las distancias fueran suficientemente grandes para que se pudiera apreciar las diferencias", que "se repitieran las medidas varias veces para eliminar errores", que "no se produzca una ráfaga de viento en el momento de la medida", etc.

- En el segundo grupo (9/22) la respuesta -que denominaremos de tipo 2- era fundamentalmente la siguiente:

Una persona emite un sonido a la vez que emite una luz y otra persona, colocada a cierta distancia, mide el tiempo que tarda desde que ve la luz hasta que oye el sonido. Volvemos a repetir la experiencia, pero a una distancia mayor y volvemos a tomar el tiempo; lo hacemos para otras distancias y con todos estos datos calculamos la velocidad para cada tramo, y si coinciden es que el movimiento del sonido en el aire es uniforme.

- De los 22 alumnos que realizan el diseño, independientemente de que este sea del tipo 1 ó 2, la mayoría (15/22) lo hacen de manera que se puede considerar completo, ya que en el mismo se puede distinguir que han planteado bien el problema, han tenido en cuenta las precauciones necesarias (sincronización, distancia, etc.), identifican claramente las magnitudes que intervienen y han utilizado correctamente el aparato matemático necesario.

- El resto de alumnos (7/22) hacen un diseño que se puede considerar incompleto (no toman alguna de las precauciones necesarias), contiene errores conceptuales (se refieren indistintamente a la velocidad y al tiempo) o no ha utilizado correctamente el aparato matemático necesario.

Como hechos a destacar en los resultados de esta pregunta, podríamos indicar el gran número de diseños completos y correctos que aparecen, sobre todo si se tiene en cuenta la dificultad que para los alumnos tienen los contenidos procedimentales.

Otra conclusión que se podría sacar, a la vista de los diseños incompletos, es que una de las grandes dificultades de los alumnos es traducir el mensaje cualitativo a lo cuantitativo, por ignorar o equivocar el aparato matemático.

Habría que decir también que la mayoría de los diseños que aparecen en las respuestas tienen unas características similares que los definen. Son bastante reales y factibles (la mayoría se podría realizar), utilizan para ellos materiales asequibles (petardos, lámparas, etc.), y son bastante concretos ya que, en general, hay pocas divagaciones.

b) Respecto al ítem 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.*)

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 46. De estos, un número importante (32/46) justificaron su respuesta, mientras que los otros no lo hicieron.

- Para la justificación de la respuesta, la mayoría de ellos (17/32) utilizó un razonamiento basado en la velocidad:

"El niño escucha antes el sonido propagado por el hierro, puesto que por el hierro la velocidad del sonido es mayor que por el aire".

"Escuchará antes el sonido en el ferrocarril, ya que el sonido se desplaza más rápido en el hierro que en el aire".

"Escucha antes el que llegue por la vía, puesto que la velocidad del hierro es mayor y el espacio recorrido el mismo", etc.

-Otro grupo de alumnos (10/32), utilizó el modelo ondulatorio para justificar su respuesta:

"Porque las partículas de hierro están más juntas, y la vibración se transmite más rápido que en el aire que están las partículas más separadas".

"El propagado por el hierro, ya que una característica de las ondas sonoras es que en un medio que tenga sus partículas más unidas entre sí, la velocidad de la onda será mayor que la que

tendría en otro medio con las partículas más separadas entre sí, y éste es el caso de la onda en el hierro y en el aire”.

“El sonido que antes llegará será el de la vía, ya que las ondas pasan o circulan mejor cuanto más unidas estén las moléculas del modelo, por lo tanto el hierro las tiene más unidas”, etc.

- Otro grupo pequeño de alumnos (5/32) utilizó para su justificación, un razonamiento basado en el estado de la materia:

“Primero por el hierro sentirá la vibración, y no la escuchará antes por el aire porque la velocidad de propagación de un sólido es más rápida que en el aire”.

“El golpe que da en la vía se escuchará antes, porque en los sólidos el sonido se propaga mejor y más rápido”, etc.

- De los alumnos que contestaron a la pregunta, prácticamente todos (43/46) realizaron los cálculos correspondientes; y de ellos una gran mayoría (33/43) los hicieron de forma correcta y completa (independientemente de sus justificaciones).

Otra característica de las respuestas, que se podría deducir del gran número de éstas que incluyen una justificación que no se pedía, es que este tipo de alumnos está habituado a justificar sus afirmaciones, aún en los casos en los que no se les demande.

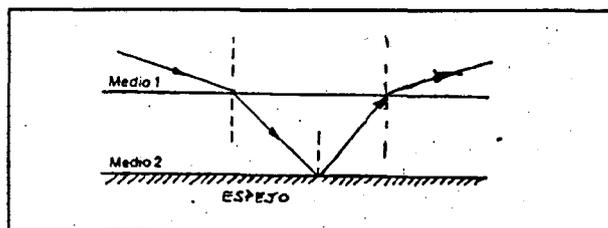
No obstante, también se detecta, a la vista de los errores matemáticos aparecidos en las respuestas (se equivocaban, por ejemplo, al despejar el tiempo, y obtenían que $t=v/e$), que una de las grandes dificultades de los alumnos aparece en la utilización del aparato matemático necesario.

c) Respecto al ítem 4 (*Observa la marcha de un rayo de luz a través de dos medios desconocidos. a) ¿Podrías dibujar cómo continúa el rayo?. Explicalo. b) ¿Qué conclusiones puedes sacar sobre el medio 1, y el medio 2 ?, c) ¿Podría ser una situación real?. Descríbela).*

Para realizar el análisis dividimos la pregunta en tres apartados, que corresponden a los mismos planteados en el ítem, que se estudiaron separadamente.

a) *¿Podrías dibujar cómo continúa el rayo?. Explicalo.*

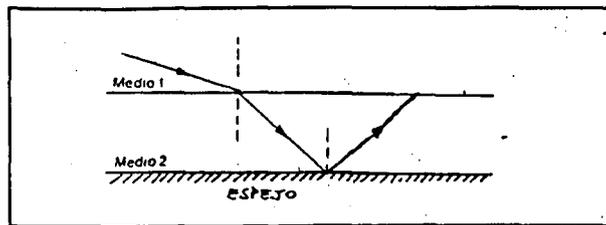
- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 48 y prácticamente todos (47/48) realizaron un dibujo. La mayoría (28/47) lo hicieron de forma completamente correcta, ya que dibujaron un rayo que formaba un ángulo de reflexión igual que el de incidencia dentro del medio 2, y un ángulo de salida del medio 2 al medio 1 igual que el de entrada.



Dibujo 1

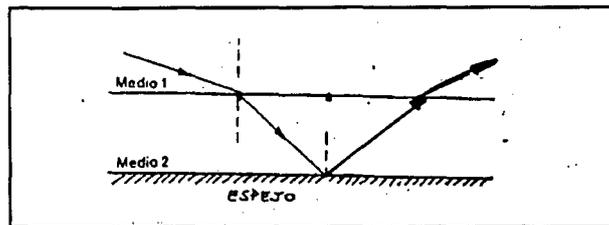
- Otro grupo pequeño de alumnos (8/47) realizaron un dibujo que se puede considerar correcto

pero incompleto, ya que sólo dibujaron un rayo que formaba un ángulo de reflexión igual que el de incidencia dentro del medio 2, pero sin salida al medio 1.



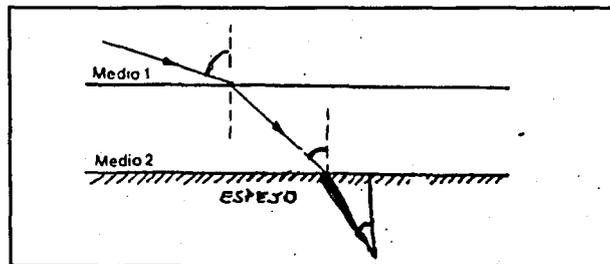
Dibujo 2

- Otro grupo de alumnos (7/47) contestaron de forma parcialmente correcta, ya que dibujaron un rayo que formaba un ángulo de reflexión igual que el de incidencia dentro del medio 2; y un ángulo de salida del medio 2 al medio 1 diferente al de entrada.



Dibujo 3

- El resto de los alumnos (4/47) lo hicieron de forma completamente errónea, ya que dibujaron un rayo que continuaba atravesando el espejo.



Dibujo 4

- De los alumnos que contestaron a la pregunta, la mayoría (41/48) justificaron su respuesta. Éstas se pueden considerar completamente correctas en 11 de los casos, ya que contenían todas las partes que habíamos considerado como tales: el ángulo de incidencia es igual al de reflexión, y el ángulo de salida del medio 2 al medio 1 es igual al de entrada. De estos 11 alumnos que justificaron adecuadamente su respuesta, prácticamente todos (10/11) eran del grupo que había realizado el dibujo de forma correcta.

- Pero la gran mayoría, hizo una justificación que se puede considerar incompleta, ya que se limitaban exclusivamente a explicar por qué el ángulo de incidencia era igual al de reflexión, pero sin hacer mención a lo demás.

Podríamos deducir a la vista de los resultados, que parecen dominar mucho mejor la reflexión que la refracción, tanto en el aspecto gráfico como en el conceptual. También se observa la gran relación existente entre

el dibujo y la justificación; ya que cuanto mejor era el primero, mayores posibilidades había de que la segunda fuera correcta.

b) ¿Qué conclusiones puedes sacar sobre el medio 1 y el medio 2 ?

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 42. De estos, hay un pequeño grupo (7/42) que confunde el medio con la superficie:

"El medio 1 es transparente y va a menos velocidad que en el aire; el medio 2 es un cristal, y refleja todos los rayos que le llegan".

"El medio 1 podría ser agua, por lo que desvía el rayo; y el 2 es un espejo, por eso sale el rayo reflejado", etc.

- La mayoría de los alumnos (30/42) que respondieron a la pregunta, sacaron como conclusión que la velocidad de propagación de la luz en los distintos medios no era la misma. De ellos 21 afirmaban que la $v_1 > v_2$, mientras que 9 afirmaban lo contrario, es decir que $v_1 < v_2$. Otro grupo (5/42), sacaron como conclusión simplemente, que los dos medios tenían alguna característica diferente, o simplemente que eran diferentes.

- De los que contestaron adecuadamente, la mayoría (24/35) justificaron su respuesta. Éstas, se pueden dividir en cuatro grupos que, aunque tienen partes comunes, se caracterizan por hacer más hincapié en alguno de los conceptos:

Así, un grupo de 6 alumnos lo hizo en base al ángulo:

"Pues las conclusiones podrían ser que en el medio 1 la luz lleva una velocidad mayor al del medio 2, puesto que el ángulo entre el rayo y la normal es mayor en el medio 1 que en el medio 2 y según nuestras conclusiones en clase, a mayor ángulo mayor velocidad de la luz".

"Que en el medio 2 la velocidad de propagación de la luz es menor ya que el ángulo de desviación es menor en el medio 2 con respecto a la normal o perpendicular al plano", etc.

Otro grupo de 5 basó su justificación en un ejemplo:

"El medio 1 podría ser el agua y el medio 2 podría ser aire. El medio 1 lleva menor velocidad, por lo tanto en el 2 lleva más ya que el ángulo es mayor".

"El medio 1 podría ser el aire mismo, y la velocidad de la luz es 300.000 km/s. El medio 2 es diferente al uno, porque la luz sufre una desviación y una disminución de la velocidad, el medio 2 podría ser el vidrio", etc.

Algunos (5/24) basaron su justificación en la refracción:

"Yo creo que el medio 1 podría ser el aire, y el medio 2 agua, y por eso se produce la refracción cuando entra en el agua".

"Que la luz se propaga mejor en el medio 2 que en el medio 1, ya que cuanto mayor es el ángulo de refracción, mejor se propaga en ese medio", etc.

Y, por último, otros (8/24) dieron una justificación más o menos confusa, que no estaría englobada en ninguna de las anteriores categorías:

"Son totalmente distintos. El medio 2 es más denso que el medio 1".

"El medio 1 es el aire, y el medio 2 más o menos viendo el ángulo de refracción que tiene, es un ángulo parecido al medio del agua. Que el medio 1 tiene más velocidad que el medio 2", etc.

A la vista de las respuestas de la prueba, podríamos decir que hay un gran número de alumnos (30), que relacionan la situación con el cambio de velocidad, la mayoría de los cuales (21) además indican correctamente que $v_1 > v_2$, lo que se puede considerar un resultado altamente positivo. También se podría destacar, la utilización que muchos hacen del modelo corpuscular para justificar sus afirmaciones.

c) ¿Podría ser una situación real?. Descríbela.

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 40, la mayoría de los cuales (34/40) identificaron los medios a través de un ejemplo correcto. De ellos, un número importante (24/34) lo hicieron de forma completa, ya que llegaron a establecer claramente cuáles podrían ser los dos medios, y pusieron un ejemplo real de la situación. El resto (10/34) lo hizo de forma incompleta, ya que carecía de la identificación de alguno de los medios; además es importante resaltar que ninguno de estos dió ningún tipo de justificación.

- De los alumnos que contestaron a la pregunta, justificaron su respuesta solamente 13, casi todos (11/13) incluidos en el grupo que había dado una respuesta completa y correcta. Éstas fueron diversas y, al igual que ocurría en el apartado anterior, relacionaban varios conceptos aunque se caracterizaban por hacer más hincapié en alguno de ellos.

Así, un grupo de 7 alumnos dió una justificación en base a los rayos, para lo que la mayoría de ellos realizó un dibujo:

*"Pues cogemos una vasija grande de agua, y colocamos en el fondo un espejo, y con un rayo de luz que producimos con una linterna, le enfocamos al espejo pero sin enfocarle perpendicular".
"Sí, podría ser la situación en una pecera, la luz entra a la pecera desde el aire, disminuye la velocidad y si la pecera en el fondo tuviera un espejo, el rayo rebotaría", etc.*

Otro grupo de 4 alumnos dió una justificación basada en la relación entre ángulos y velocidad:

"Sí podría ser real, si el medio 1 fuera aire y el medio 2 fuera el vidrio. Sí porque la velocidad de la luz en el aire es de 300.000 km/s y al ser mayor tiene un ángulo de incidencia mayor que el otro, y el vidrio opone más resistencia al paso de la luz, ya que la velocidad de esta en el vidrio es de 200.000 km/s".

"Sí, si el medio 1 fuese aire y el 2 vidrio, agua, o un diamante; ya que el rayo de refracción hace el entrar en el medio 2 un ángulo menor el del medio 1", etc.

Teniendo en cuenta que prácticamente todas las justificaciones pertenecen a aquellos alumnos que han identificado todos los medios, podríamos deducir que ésta supone un conocimiento más profundo de lo que se está preguntando, por lo que lo consideramos un indicador muy interesante de los conocimientos adquiridos. Lo mismo ocurre, aunque en menor medida, con el dibujo, ya que éste sólo fue realizado por aquellos que habían identificado correctamente todos los medios.

d) Respecto al ítem 5 (Un cazador efectúa un disparo a 500 m de un observador, y éste tarda 2 seg. 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)

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 42, entre los que hubo un pequeño grupo de 6 alumnos que respondió de forma completamente errónea: uno de ellos hizo los cálculos de la velocidad del sonido en esas circunstancias y lo interpretó erróneamente como la velocidad del viento, otro utilizaba indistintamente el espacio y la velocidad, etc.

- Hay 17 alumnos que calcularon correctamente la velocidad del viento, 13 de los cuales llegan a establecer además su dirección real.

- Otro grupo (13/51) alumnos indicaron adecuadamente cuál es la dirección del viento, pero sin llegar a calcularla numéricamente; 10 calculando la velocidad del sonido y 3 sin hacer ningún tipo de cálculo.

- Hay 23 alumnos que justificaron su respuesta, de los cuales 12 lo hacen respecto a la velocidad:

"Sopla en contra del que dispara, porque el sonido baja su velocidad 90 m/s, que son los que lleva en contra el viento".

"Yo creo que el viento soplará en contra porque la velocidad del sonido en el aire es de 340 m/s y a mí me sale 250 m/s, se supone que el aire pone resistencia y está en contra del cazador".

"Yo de estos datos deduzco que el viento va en contra, ya que la velocidad media del sonido en el aire es de 340 m/s y si a 500 m tarda 2 seg en oírlo, llevará una velocidad de 250 m/s. Por lo tanto las condiciones del medio son adversas a la propagación de la onda en el aire, ya sea por motivo de la temperatura o del viento", etc.

Siete lo justificaron respecto al espacio:

"Se puede deducir que el viento va en contra, porque si en condiciones normales la velocidad del sonido en el aire es de 340 m/s, en dos segundos debería haber recorrido 680 m. Por lo que la velocidad sería: si en 2 seg recorre 500 m, en 1 seg recorre 250 m".

"Si el sonido en el aire va a 340 m/s y tarda 2 seg, el sonido recorre 680 m, y el observador está solo a 500 m, esos 500 m que sobran son la distancia que recorre el viento en 2 seg, y va del observador al cazador porque retrasa el sonido". "Si cada segundo recorre 250 m, y debería recorrer 340 m, se deduce que el viento va en contra del cazador, y que la velocidad era de 90 m/s", etc.

Y cuatro lo hicieron respecto al tiempo:

"El viento va en la dirección observador-cazador porque el sonido debería tardar 1,47 seg, pero como el viento va en contra tarda 2 seg".

"Si la velocidad del sonido es de 340 m/s, y tarda 2 seg en 500 m; si el aire estuviera a favor, en 2 sg haría aproximadamente 700 m. Entonces estará un poco en contra para que los 200 m que sobran de los 700 se queden en 500. Es decir que la velocidad del sonido en ese momento es de 250 m/s, y por eso la dirección del aire es en contra con respecto al cazador", etc.

Hay que destacar en las respuestas de esta pregunta, la gran diversidad de soluciones que se proponen, motivadas en gran parte por el gran número de posibilidades que encerraba la respuesta, como le ocurre siempre a cualquier actividad para la que sea necesario dar una explicación. Esto nos lleva a considerar este tipo de cuestiones como bastante interesantes, si lo que pretendemos es que los alumnos se acostumbren a justificar sus respuestas.

e) Respecto al ítem 6 (*El índice de refracción del agua es $4/3$ y el del vidrio $3/2$. ¿En cuál de esas sustancias se propaga la luz a mayor velocidad?, ¿Cuál es más refringente?*).

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 40, de los cuales 11 llegaron a establecer que la $v_a > v_v$, después de calcular correctamente la velocidad de la luz en el agua y en el vidrio.

- Otros 18 llegaron a su vez a establecer esa misma relación pero sin cálculos, aunque cuatro justificaron su respuesta.

- De 19 alumnos que respondieron a la pregunta, afirmando que el vidrio es más refringente que el agua, nueve de ellos no lo justificaron; mientras los otros diez lo hicieron en base a que el índice de refracción del vidrio es mayor que el del agua.

- Hubo 10 alumnos que respondieron a la pregunta, afirmando que el vidrio es menos refringente.

No parece, ante los resultados de las respuestas de este ítem, que los alumnos establezcan una relación clara entre el índice de refracción de un medio y la velocidad de propagación de la luz en el mismo. También es posible

que la gran abstracción del concepto implicado, es decir de la refracción, o la propia formulación de la pregunta influyeran en las respuestas.

f) Respecto al ítem 7a) *¿Cómo probarías que tu voz tiene su origen en una vibración, y que el sonido emitido transporta energía?*

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, sólo contestaron a la pregunta 30. Veinte de ellos no fueron capaces de diseñar una experiencia adecuada, ni de poner un ejemplo para comprobar que la voz tiene su origen en una vibración

- Únicamente diez de ellos respondieron de forma más o menos correcta a la primera parte de esta pregunta:

"Podría comprobar que mi voz tiene origen en una vibración, simplemente poniendo los dedos en la garganta cuando hablo, y el sonido emitido no desplaza materia, y los podíamos comprobar con el experimento de la vela".

"Una vibración produce un sonido, por lo tanto la voz es una vibración. Lo demostraremos de la siguiente manera: nos ponemos tapones en los oídos, de tal manera que no oigamos nada, ponemos una hoja de papel delante de la boca de un compañero, él habla y nosotros notamos una vibración".

"Poniendo el ejemplo de la guitarra, hacemos vibrar una cuerda y vemos que de ésta sale un sonido y transporta energía (la música), en nuestro caso serían las palabras", etc.

- De los 30 alumnos que contestaron, la mitad de ellos no fueron capaces de diseñar una experiencia adecuada, ni de poner un ejemplo para comprobar que el sonido emitido transporta energía; o lo que es lo mismo, solamente quince de ellos respondieron de forma más o menos correcta al segundo apartado de la pregunta, casi todos (12/15) a través de un ejemplo:

"Colgaría un papel colgado de un hilo, y al hablar se movería y probaría que transporta energía".

"El sonido se produce al chocar los objetos y comienzan a vibrar, y al llegar a un objeto lo hace vibrar, lo que demuestra que transporta energía".

"Coges una vela y te la colocas enfrente de la boca, al hablar, la vela se apaga porque hay un transporte de energía", etc.

- Sólo hubo cuatro alumnos, que respondieron simultánea y satisfactoriamente a ambas partes de la pregunta

A la vista de los pobres resultados de esta pregunta, es posible afirmar que no era una cuestión que les resultara sencilla a los alumnos, bien por tratarse de un concepto que todavía no habíamos trabajado en el aula, como era la energía o, quizás, por la dificultad del contenido procedimental que se les estaba demandando.

g) Respecto al ítem 7c) *(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?)*

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, sólo contestaron a la pregunta: 8 de ellos respondiendo que se produciría un movimiento ondulatorio transversal, 16 que se produciría un movimiento transversal, 12 que se produciría un movimiento ondulatorio y sólo dos que el movimiento producido sería longitudinal. Habría que decir, además, que de esos 38 alumnos que contestaron a la pregunta, 24 de ellos no lo justificaron.

- De los 14 alumnos que justificaron su respuesta, 9 lo hicieron de forma más o menos correcta y completa:

"Se produce un movimiento ondulatorio, ya que al golpear el tubo se doblará hacia abajo, luego hacia arriba (hasta que se para), y se provoca una onda. Sería una onda transversal puesto que la perturbación se produce vertical al tubo".

"Creo que son los dos movimientos, el golpe de la regla es perpendicular a la propagación de la onda, por lo tanto es transversal; pero puede ser que el cable de goma sufra una contracción y posterior dilatación y la dirección de la propagación sea horizontal, por lo tanto es longitudinal".

"Será un movimiento de tipo transversal, ya que el golpe se da en vertical y la onda se propaga en horizontal, o sea en perpendicular a la dirección de producción de la onda", etc.

- Y otros 5 afirman de forma ambigua:

"Es un movimiento, una onda transversal, ya que el tubo sube y baja pero en perpendicular al desplazamiento de materia".

"Movimiento ondulatorio transversal ya que vibra en dirección perpendicular a la materia", etc.

A la vista de los resultados de esta pregunta, podemos afirmar que un gran número de alumnos son capaces de identificar el movimiento ondulatorio. También se observa que son capaces de diferenciar entre movimiento ondulatorio transversal y longitudinal, aunque la mayoría no sean capaces de justificarlo.

h) Respecto al ítem 8 (*Todo el mundo sabe que los sonidos se oyen mejor debajo del agua. ¿Podrías dar una explicación a este hecho?*)

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 46. De estos, sólo hubo 6 que respondieron de forma correcta y completa, ya que contemplaban de manera interrelacionada al menos tres de las variables, a través de las que se podía dar contestación satisfactoria a la pregunta (moléculas unidas, onda, velocidad, modelo, energía, etc):

"Sí, es porque dentro del agua lleva una velocidad mayor a la que lleva la onda sonora en el aire. De lo que se deduce, que las ondas sonoras en un medio con las partículas más unidas, se transportan a mayor velocidad que en otro que las tenga menos unidas entre sí".

"Porque en el agua las moléculas están más unidas, y un sonido se propaga mejor y pierde menos energía, al propagarse por unas moléculas más unidas que si están separadas, porque se perdería energía entre los huecos de las moléculas del medio".

"Sí, es porque dentro del agua lleva una velocidad mayor a la que lleva la onda sonora en el aire. De lo que se deduce que las ondas sonoras de un medio con las partículas más unidas se transportan a mayor velocidad que en otro que las tenga menos unidas entre sí", etc.

- Otros 9 respondieron de forma correcta, pero incompleta, ya que sólo contemplaban dos de las variables (moléculas unidas y velocidad):

"Porque las partículas de agua están más juntas y las de aire más separadas, y se oye mejor en el agua porque allí la velocidad del sonido es más rápida".

"Sí, ya que la velocidad del sonido en el agua es mayor que la del aire, por lo tanto opone menos dificultad a su paso en el agua que en el aire".

"Sí, porque la velocidad del sonido en el agua es mucho mayor que en el aire. Esto es debido a que las partículas en el agua están más pegadas que en el aire", etc.

- Hubo 6 alumnos que respondieron también de forma correcta pero incompleta; las dos variables que contemplaban eran diferentes (moléculas unidas y onda), pero no hacía mención a las demás:

"Porque las moléculas del agua están más juntas que las del aire, y permiten una vibración más rápida cuando se produce un sonido".

*"Porque las moléculas del agua al estar más juntas, el recorrido de la onda le será más fácil".
"Porque al estar más juntas las partículas de agua, por lo tanto la vibración de ellas es más rápida al estar más juntas, y se desplaza a mayor velocidad", etc.*

- Otros 6 respondieron de forma parcialmente correcta, ya que sólo hacían referencia a que las moléculas del agua estaban más unidas que las del aire:

"Las partículas que forman el agua están mas unidas que las del aire, por eso el sonido atraviesa mejor el agua".

"Es debido a que las partículas del agua están mas compactas que las del aire, y se transmite el sonido mejor".

"Sí, se propaga mejor por el agua, ya que las partículas del agua están mas juntas y se podría desplazar mejor el sonido", etc.

- Hubo 2 alumnos que respondieron de forma distinta pero también de forma parcialmente correcta, ya que en su respuesta sólo hacían referencia a la onda:

"Porque el sonido es una onda, y las ondas se propagan más rápidamente en el agua, y el sonido al cumplir las características de la onda se propaga también", etc.

- Otros 8, a pesar de lo que dice el enunciado, insisten en que el sonido se propaga mejor en el aire que en el agua, justificándolo de diversas maneras. El resto lo hizo de forma incorrecta.

A nuestro modo de ver, esto pone de manifiesto entre otras cosas, la dificultad que los alumnos tienen todavía en interpretar textos escritos, ya que en contra de lo que piensan muchos profesores, no basta solamente con que lo vean para que lo asuman (sobre todo, cuando no coincide con sus ideas previas).

Prácticamente todos justificaron su respuesta, apareciendo la variable "moléculas unidas" en 31 respuestas, la "velocidad" en 19, la "onda" en 14 y, la "energía/modelo" en 4 de ellas. Por lo tanto, y ante los resultados obtenidos en esta pregunta, podemos afirmar que los alumnos después de la enseñanza recibida en este módulo de ondas, son capaces de justificar adecuadamente la propagación de las ondas de forma satisfactoria.

i) Respecto al ítem 9 (*Luisa y su profesor están discutiendo sobre la visión. Profesor: Explica como ves el libro. Luisa: Señales que van a través de los nervios, entre los ojos y el cerebro. Profesor: Sí, esto sucede entre los ojos y el cerebro. Pero hay alguna distancia entre el libro y los ojos. ¿Qué ocurre entre ellos?; ¿cuál sería tu respuesta?, dibuja y explica*).

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 42. La mayoría de estos alumnos (34/42), lo hicieron utilizando el modelo de visión admitido por la ciencia, es decir que *"la luz llega al libro, se refleja y llega a los ojos, por lo que puedo ver la figura y las letras del libro"*.

- De ellos, un porcentaje importante (27/34) respondieron de forma completamente correcta:

"La luz se refleja en el libro y rebota en todas direcciones, la luz que rebota la recogen los ojos y la envían al cerebro a través de señales".

"Que la luz llega al libro y esta rebota y llega a los ojos".

"La luz blanca está compuesta por varios colores, esta al llegar al libro atrae a unos colores y a otros no, los que nos llegan son los que nuestros ojos captan", etc.

- Otros 7 tan sólo contestaron de forma parcial o confusa. De ellos un grupo de 5 alumnos respondió utilizando un modelo alternativo de visión:

"Que hay luz. Que iluminaría la luz el libro y nosotros a través de la vista lo veríamos; la luz le llega al libro y lo ilumina y nosotros lo vemos".

"Yo diría que primero, para que nosotros veamos el libro tiene que haber un medio y luz que ilumine ese objeto para que nosotros podamos verlo", etc.

- Otros dos alumnos respondieron utilizando otro modelo alternativo de visión:

"Mi respuesta es que el libro siempre que haya luz está iluminado. Así pues cuando tu miras al libro el rayo se reflejará en tus ojos y tu lo ves", etc.

La principal conclusión que se puede sacar de las respuestas que han dado a esta pregunta, es que la mayoría de ellos han sido capaces de utilizar correctamente el modelo científico de visión.

j) Respecto al ítem 10 (*Si le damos un golpe a un diapasón, y luego tocamos la superficie del agua con dicho diapasón; 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!*).

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 48. De ellos la mayoría (29/48) lo hace correctamente, afirmando que sí se producirá una onda en el diapasón y prácticamente todos (24/29) justificando su respuesta.

- De esas justificaciones, hubo 13 que se pueden considerar completamente correctas, ya que incluían y relacionaban adecuadamente las variables que son claves en esta situación (onda, vibración, generador de ondas, cambio de velocidad, etc.):

"No sólo saldría una onda, sino que saldrían, bueno, saldrían dos puntos de ondas, o sea dos orígenes de ondas elementales, que debido a como vibra el diapasón serían de gran frecuencia".
"Sí, se habría producido una onda de tipo sonora, y es debido a la vibración del agua en el diapasón, pienso lo que denominábamos la clase anterior, de que si se tiene una onda y un obstáculo, cuando choca esta onda, el obstáculo se convierte en un generador de ondas que serían de sonido".

"Sí se produciría vibración en el diapasón, porque la onda choca, y con todo elemento que choca si puede pasarlo lo transforma en un generador", etc.

- Otras 11 justificaciones de los alumnos que respondieron que se produciría una onda en el diapasón, se pueden considerar incompletas o ambiguas ya que no incluían o no relacionaban adecuadamente las variables anteriormente citadas:

"Creo que sí, porque la onda tocaría el diapasón y se propagaría a través de él".

"Sí, se transmite la vibración de las ondas del agua al diapasón".

"Sí se habría producido una onda, porque el diapasón aunque no lo viéramos vibraría, y se produciría una onda en las partes del diapasón", etc.

- Otro grupo (19/48) afirman en cambio que no se producirá ninguna onda en el diapasón. Cuatro de ellos no lo justifican, siete simplemente comentan que no hay fuerza suficiente y ocho lo hacen de forma errónea:

"No, en el diapasón no se produciría onda alguna, pues este no sufre una vibración, pero por el diapasón se desplazaría la onda producida en el agua".

"Yo creo que no porque las ondas de la superficie del agua no hartan vibrar a las partículas del diapasón".

"No se producirá sonido en el diapasón porque las ondas del agua esquivan los cuernecillos del diapasón", etc.

La principal observación que se puede realizar, es que los alumnos no sólo han sido capaces de identificar en su mayoría lo que es una onda sino que, además, un gran número de ellos lo justifican, relacionando para ello diversos conceptos entre sí.

k) Respecto al ítem 11a (*Explica el por qué de esta afirmación: a) Los faros de los automóviles llevan detrás del foco luminoso un espejo parabólico*)

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 49. Un grupo de 23 alumnos justificaron su respuesta en base a la reflexión:

"Para que la luz perdida detrás de la bombilla, se refleje en ese espejo para tener un mejor alumbramiento en el automóvil".

"Esto es cierto, y se utiliza para que la posible luz que no vaya hacia delante sea reflejada".

"Sí, para que los rayos que van hacia atrás salgan rebotados también hacia delante", etc.

- Otro grupo de 25 alumnos lo hicieron en función de la orientación:

"Para poder distribuir bien la luz, y dirigirla hacia el centro de la carretera sin molestar a nadie".

"Sí, los faros de un automóvil están constituidos por un espejo parabólico para así, poder concentrar en un punto la mayor cantidad de luz posible".

"El espejo parabólico está para concentrar la luz que se pierde en los lados, en un punto en concreto, en este caso delante del coche", etc.

- De ellos, 14 utilizaron en su justificación ambos conceptos, y lo hicieron simultáneamente en base a la reflexión de la luz y a su mejor aprovechamiento:

"Para que refleje la luz que se va por detrás de la bombilla, y así se aprovecha la luz al máximo, proyectándola hacia delante".

"Para centrar todos los rayos en el punto clave, que nosotros necesitamos ver (como la carretera). También para que los rayos de luz que vayan para atrás, reboten y se vayan hacia adelante, esto es la reflexión de la luz en un espejo parabólico".

"Eso se hace para que la luz no se desplace hacia los lados, sino que choque en la parte luminosa y se propague hacia delante", etc.

A pesar de todo y teniendo en cuenta el nivel de las respuestas de los alumnos, habría que decir que sólo 11 lo hicieron de forma plenamente satisfactoria. De lo que se podría extraer que parecen justificar su respuesta en base a un sólo tópico, sin ampliar o profundizar en otros aspectos.

l) Respecto al ítem 11b (*Explica el por qué de esta afirmación: b) En una habitación vacía es muy difícil entender lo que dice una persona*).

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 47. Un grupo de 34 de los que respondieron, utilizaron en su respuesta fundamentalmente la reflexión, implícita o explícitamente:

"Sí, ya que las ondas del sonido rebotan entre las paredes, y se cruzan unas con otras, y así los sonidos se mezclan y no se entiende".

"Sí, porque cuando hablas se producen muchos rebotes, y por lo tanto no se escucha bien".

"Porque rebotan o se reflejan las ondas emitidas con las paredes, pero muy rápidamente, de forma que no llega a producirse el eco, porque no se está a la distancia mínima", etc.

-Un gran número de alumnos (27/47) utilizaron además en la explicación de su respuesta, el incremento de tiempo:

"Sí, porque al no haber muebles que chupen esa vibración, la vibración sale de tu boca y se propaga por el aire, y rebota en las paredes muy rápido, casi al mismo tiempo, un poquísimo después, y por eso se mezclan las palabras y es muy difícil de entender".

"Porque los rebotes llegan uno detrás de otro y no se puede entender, se escucha como un murmullo".

"Porque las ondas rebotan en las paredes, y le llegan después que las que llegan directas al que se le está hablando, y se confunden", etc.

- Otro grupo de 18 lo hicieron a través del concepto de reverberación:

"Cualquier sonido que haya en la habitación rebota en las paredes, primero llegará el sonido directo del emisor y luego el que rebota en las paredes, a esto se le llama reverberación".

"Entonces se produce una reverberación, que es como una distorsión del sonido, las ondas que tú emites chocan con el techo y con las paredes, y luego vuelven a ti y se juntan con las que tu emites de nuevo y entonces se te entiende menos".

"Porque las ondas del sonido que producen, produce una reverberación, impidiendo escuchar bien el sonido", etc.

- Un grupo de 7 lo hicieron en función de la absorción o de las interferencias:

"En una habitación vacía se crean muchas interferencias al hablar, ya que la mayoría del sonido emitido se refleja, en una habitación con muebles se amortigua el sonido en ellos".

"Porque no hay objetos que absorban los rebotes del sonido y hay más interferencias", etc.

- Hubo 17 que en su respuesta combinaron al menos tres de estos factores (reflexión, reverberación, interferencias, incremento de tiempo, absorción), por lo que la consideramos completa:

"Porque las ondas que emite, al reflejarse en las paredes, llegan varias a la vez al oído y éste no las diferencia, pues no han transcurrido 0,1 seg de un sonido a otro".

"Verdadero porque se produce que percibamos los sonidos directos del que habla, y los rebotados a las paredes, con una separación entre onda de menos de 0,1 seg, esto es reverberación".

"Es por un efecto que se llama reverberación. El oído es capaz de diferenciar los sonidos que se transportan a 0,1 seg de diferencia unos de otros, y en este caso de reverberación esto no se respeta y llegan las ondas rebotadas en las paredes y la directa casi a la misma vez, haciendo que el cerebro no pueda interpretar bien lo se ha dicho", etc.

- Además 14 alumnos combinaron al menos dos de estos factores en su contestación, por lo que podemos considerar su respuesta como parcialmente correcta:

"Porque las ondas al chocar con objetos, recorren más espacio unas que otras hasta llegar a nuestro oído, y oímos unas y luego otras, y por eso es muy difícil de entender".

"Sí, ya que si te hablan directamente, escuchas las ondas directas y las rebotadas en las paredes, un tiempo después", etc.

- Mientras que hubo 9 que en su respuesta sólo utilizaron una de las variables, por lo que la podemos considerar muy poco correcta:

"Sí, porque la voz de la persona que habla, sus sonidos rebotan en el techo y se produce".

"Sí, porque en una habitación vacía no hay obstáculos y la voz se transmite hacia todos lados rebotada, y es muy difícil de entenderla", etc.

Hay que destacar, que la mayoría han sido capaces de interpretar el fenómeno de la reverberación en base a varios conceptos relacionados entre sí, por lo que parecen disponer de un cuerpo de conocimientos suficientes para explicar este fenómeno; no obstante, en un número muy pequeño todavía es posible detectar la confusión habitual entre eco y reverberación.

m) Respecto al ítem 11c (*Explica el por qué de esta afirmación: c) El sonido puede sufrir refracción*).

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, solamente contestaron 31. De estos, 4 dieron una respuesta que se pueda considerar correcta, ya que relacionaban, de forma más o menos completa, el fenómeno de refracción con el cambio de velocidad (en módulo y dirección) y a éste con el medio:

"El sonido es una onda, y como todas las ondas, al pasar de un medio a otro cambia de velocidad y dirección. Una persona que habla dentro de una habitación se puede escuchar fuera".
"Porque el cambiar de medio cambia la velocidad, y entonces se produce la refracción", etc.

- Tres dieron una respuesta que se pueda considerar parcialmente correcta, ya que no era completa, o contenía errores que se podían considerar poco relevantes:

"Sí, por ejemplo del sonido del aire al agua se produce refracción".
"Sí, porque el sonido cuando nosotros estamos hablando, las ondas que salen de nuestra boca rebotan por ejemplo en una puerta, pero otras la atraviesan y podemos oírlo detrás de la puerta lo que se está hablando dentro", etc.

- Otros dos de ellos dieron una respuesta que se puede estimar como bastante incorrecta, ya que contenía errores que se podían considerar graves o carencias importantes:

"Sí, porque el sonido atraviesa una puerta y también se oye dentro", etc.

- El resto de los alumnos (22/31) que contestaron a esta pregunta, dieron una respuesta completamente errónea, confundiendo reflexión y refracción:

"Sí, cuando choca con algún objeto de gran resistencia las ondas sonoras rebotan. Este es el caso del eco".
"Sí, porque no todo el sonido que se emite atraviesa los cuerpos, una parte rebota", etc.

Un dato importante es que los alumnos, en muchos casos, simplemente se limitan a identificar el fenómeno, con o sin justificación posterior. Y, por último, destacar la estrecha relación que parece existir entre las respuestas aceptables y los ejemplos, de tal manera que la mayoría (8/9) de los alumnos que han contestado de forma más o menos correcta, han sido capaces de poner un ejemplo.

n) Respecto al ítem 11d (*Explica el por qué de esta afirmación: d) La velocidad de cualquier sonido en el vacío es cero*).

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 47. Un grupo de 26 de los que respondieron, justificaron su respuesta en base a la ausencia de materia que existe en el vacío:

"Sí, ya que las ondas necesitan materia para propagarse y en el vacío no hay materia".
"Porque no hay átomos, y estos son imprescindibles para que haya transmisión del sonido".

*"El sonido necesita materia para hacerla vibrar, propagándose; y en el vacío no hay materia".
"Sí, porque el sonido no puede transmitirse a través del vacío, porque no hay moléculas que permitan su vibración", etc.*

- Otros 13 lo hicieron a través del medio y de la necesidad de su existencia en la propagación del sonido:

"Sí, porque sabemos que el sonido es una onda, y como toda onda necesita un medio para transportarse, luego la velocidad es cero".

"Sí, pues este es una onda, y estas no se propagan en el vacío pues no es un medio".

"Verdadero, porque el sonido necesita un medio de transporte, si no lo tiene no se produce".

"Sí, porque el sonido para propagarse precisa de un medio, por lo tanto en el vacío no se transporta", etc.

- Otros seis alumnos lo hicieron simplemente afirmando que en el vacío no se propaga el sonido:

"Sí, y esto ocurre porque las ondas no se propagan en el vacío".

"Es debido a que el sonido en el vacío es incapaz de desplazarse, y si no se puede desplazar su velocidad es cero", etc.

- Hubo 17 cuya respuesta podemos considerar completa ya que incluyeron, con suficiente claridad, todas las partes que se pueden considerar claves (identificación del sonido como onda, necesidad de un medio para su propagación, relación entre la propagación del sonido con la velocidad, etc).

- Hay 21 alumnos que consideramos parcialmente acertados ya que o no la justificaron claramente o no incluyeron en ella todas las partes que hemos señalado.

- Y por último, hay otros 9 con una respuesta muy incompleta, ya que casi todos (6/9) se limitaban simplemente a afirmar que en el vacío no se propaga el sonido.

A la vista de los resultados, podemos considerar que la mayoría de los alumnos han sido capaces de relacionar adecuadamente la propagación del sonido con el medio o con la materia, así como que parecen disponer de un modelo, cercano al modelo científico, de propagación de las ondas.

ii) Respecto al ítem 11e (*Explica el por qué de esta afirmación: e) El sonido se propaga mejor a más temperatura*).

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 38. Un grupo de 14 justificaron su respuesta en base a la dilatación que sufren las partículas cuando aumenta la temperatura:

"Sí, porque las moléculas se dilatan y el medio se hace más sólido, y se propaga mejor al estar las moléculas más juntas".

"Sí, porque las moléculas del aire, al subir la temperatura, se dilatarían y se juntarían, y el sonido se propagaría mejor".

"A más temperatura las partículas se dilatan y se juntan unas con otras y el sonido pasa mejor a través de ellas", etc.

- Otros 8 justificaron su respuesta por la mayor unión que tienen cuando aumenta la temperatura:

"Sí, porque al haber mayor temperatura las moléculas se juntan más".

"Sí, porque las moléculas están más juntas, y el sonido se propaga mejor".

"Verdadero, porque cuando hay más temperatura, las partículas están más juntas, entonces el sonido se desplaza mejor", etc.

- Un grupo de 6 alumnos, justificaron su respuesta en base al mayor movimiento que tienen las partículas cuando aumenta la temperatura:

"Sí, porque la temperatura produce una excitación en las moléculas, y al recibir la vibración del sonido, las moléculas pueden vibrar mejor y antes".

"Sí, porque cuando la temperatura es mayor, las moléculas de aire están en constante movimiento y chocan entre sí, y esto facilita el transporte del sonido".

"Sí, porque la temperatura produce una excitación en las moléculas, y al recibir la vibración del sonido, las moléculas pueden vibrar mejor y antes", etc.

- El resto de los alumnos dieron una respuesta completamente errónea:

"Sí, ya que a más temperatura hay menos obstáculos, creo yo".

"Cuanto mayor temperatura las moléculas están más aptas para conducir una onda sonora".

"Porque las partículas están más densas, y es más fácil para la onda propagarse", etc.

Podemos considerar que, aunque la mayoría de los alumnos relacionaron el aumento de velocidad con que la unión entre las partículas fuera mayor, las justificaciones adolecían de poca profundidad. También se podría destacar que pocos han sido capaces de relacionar el aumento de temperatura con la mayor movilidad de las partículas.

o) Respecto al ítem 12a: *(Comenta las siguientes frases: a) La luz y el sonido son ondas)*

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 43. Considerando todos ellos (43/43) que el sonido era una onda. Respecto a la luz, las respuestas fueron más variadas, ya que 29 alumnos la consideraron como una onda, 12 alumnos como una mezcla onda/cuerpo y otros dos sólo desde el punto de vista corpuscular.

- De los 41 alumnos que consideran que tanto la luz como el sonido son ondas, habría que resaltar que no lo hacen de la misma forma, de tal manera que para ellos ambas no son del mismo tipo. Hubo 18 alumnos que justificaron su respuesta en función de las propiedades de las ondas:

"No desplazan materia, se propagan en todas direcciones; pero el sonido no se propaga en el vacío y la luz sí -éter- y, la luz no atraviesa cuerpos opacos y el sonido sí".

"Las dos no transportan materia, necesitan un emisor y un medio por el que propagarse, pero la luz se propaga también en el vacío, por lo tanto es una onda corpuscular".

"Sí, ya que el sonido y la luz no siempre tienen la misma velocidad según el medio; El sonido no traspasa todos los obstáculos, al igual que la luz", etc.

Las respuestas de los alumnos se pueden considerar correctas y completas en 14 casos, ya que la justificaron al menos a través de dos propiedades relevantes de las ondas; y 4 respondieron de forma parcialmente correcta, ya que en su justificación incluyeron sólo una de las propiedades siendo el no transporte de materia la más se repitió.

- Otros 18, dieron una respuesta que se pueda considerar incorrecta, ya que contenían errores o carencias importantes:

"Sí, porque cumplen algunas condiciones de las ondas".

"Verdadero, pero la luz se puede considerar más que un corpúsculo, según el caso".

"Sí, pero son dos tipos de ondas diferentes", etc.

- El resto de los alumnos (7/43) que contestaron a esta pregunta dieron una respuesta completamente errónea:

"Sí, la luz puede atravesar algunos materiales y el sonido también".

"Sí, ya que se desplaza en todas direcciones el sonido y la luz también se desplaza por ondas".

"No, porque la luz no atraviesa objetos como paredes, mesas, etc.... las ondas se desplazan en todas direcciones y la luz no", etc.

Parece que los alumnos identificaron correctamente el sonido como una onda, aunque en el caso de la luz, las respuestas son más confusas y es más complicado establecer conclusiones. Muchos justificaron su respuesta en función de las propiedades de las ondas, lo cual parece indicar que las conocen y que son capaces de aplicarlas en situaciones como éstas.

p) Respecto al ítem 12c (Comenta la siguiente frase: c) A mayor longitud de onda mayor velocidad).

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 36. De ellos, solamente ocho consideraron que era cierto, seis de los cuales lo justificaron.

- Las justificaciones, que se pueden considerar más o menos acertadas, se centraban en una explicación matemática, o en una descripción de la relación entre la velocidad con la longitud de onda, la frecuencia o el período:

"Si para el mismo tiempo la onda tiene más longitud, tardará menos tiempo en recorrer un espacio, con lo que se desplazará a mayor velocidad".

"Sí, porque si aumentamos la longitud de onda también aumentaría la frecuencia y con esta la velocidad también aumentaría", etc.

- Otros 22 alumnos respondieron a esta pregunta afirmando que no era cierto, pero sólo siete lo justificaron; se centraban en el concepto de velocidad o en la relación con la frecuencia:

"No tiene por que ser así, ya que en la velocidad influyen el espacio y el tiempo, y en un mismo espacio se pueden producir ondas con mayor o menor longitud de onda y tardar la onda el mismo tiempo en recorrerlo".

"No precisamente, porque con una longitud de onda pequeña y una frecuencia alta, puede ser mayor que en una con una longitud de onda grande y una frecuencia pequeña".

"No debe ser así, los graves mayor longitud de onda, agudos menor longitud de onda, y por el aire los oyes a la vez, eso es porque van a la misma velocidad", etc.

Es fácil observar la gran dificultad que los alumnos tienen a la hora de extraer conclusiones de una relación matemática. También se proyecta, la dificultad que tienen conceptos tan abstractos como longitud de onda y frecuencia. Por último, quisiéramos señalar que de los que consideraban que la velocidad no aumentaría al aumentar la longitud de onda, no controlaban las variables, de manera que no consideraban constante la frecuencia cuando hacían variar la longitud de onda.

q) Respecto al ítem 12d (Comenta la siguiente frase: d) A mayor frecuencia mayor amplitud).

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 37; 26 de ellos consideraron que no había relación entre frecuencia y amplitud, 20 de los cuales lo justificaron.

- Las justificaciones, que se pueden considerar acertadas (15/20), consistían en un ejemplo o se centraban en la falta de relación entre ambas:

"No, puede ser una frecuencia grande con poca amplitud, o viceversa".

"La frecuencia no tiene una relación directa con la amplitud, un sonido puede tener una frecuencia determinada y variar su intensidad (amplitud)", etc.

- Otros 11 alumnos respondieron a esta pregunta, afirmando que sí había relación entre frecuencia y amplitud, ninguno de los cuales, lógicamente, lo pudieron justificar adecuadamente, aunque seis lo intentaron:

"Sí, porque al emitir con más fuerza, mayor es la amplitud".

"Verdadero, porque a menor amplitud antes llegará la onda a un punto", etc.

Se detecta de nuevo, al ser la pregunta del mismo tipo que la anterior, las mismas dificultades y carencias que aparecían en el ítem precedente, es decir, la gran dificultad que para los alumnos tienen los conceptos de amplitud y frecuencia, así como la elaboración de conclusiones a partir de una relación matemática.

r) Respecto al ítem 13 (*Imagínate que estamos soplando a través de una pajilla de tomar refrescos. ¿Cambiaría el sonido si la pajilla fuera más corta?. ¡Explícalo!*).

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 44. De los que respondieron a la pregunta, casi todos (39/44) lo hicieron correctamente, afirmando que sí cambiaría el sonido.

- De estos alumnos, la mayoría (36/39) justificaron su respuesta, aunque 10 lo hicieron de forma errónea:

"Sí porque al ser más corta la paja, el aire que va pasando por esta, tendrá cada vez menos rozamiento de la paja y el sonido irá cambiando".

"Sí cambiaría, porque el sonido al ser la pajilla más corta, las ondas rebotan menos en la pajilla".

"Sí, cambiaría porque el rozamiento que ofrece una pajita grande es mayor que la pajita corta, así pues cambia el sonido", etc.

- Cinco alumnos justificaron su respuesta de forma completa (o casi) y correcta, ya que en ella hacían alusión a casi todos los conceptos claves (intensidad, frecuencia, tono, etc):

"Sí cambiaría, porque al tener menos distancia una pajita que otra y soplar con la misma intensidad, la corta vibrará más que la larga, porque la vibración tiene menos recorrido en la pajita pequeña y menos moléculas, y por eso suena más".

"Sí, en la primera hacemos vibrar más cantidad de aire que en el segundo, y a más vibraciones por segundo, emitiremos a más frecuencia (más agudo) que en la segunda que le costará más vibrar y vibrará menos veces por segundo (sonido más grave)".

"Sí cambiaría el sonido, porque cambiaría la frecuencia porque el sonido con la pajilla corta sería más agudo", etc.

- Otros 6 alumnos la justificaron haciendo alusión solamente a alguno de los conceptos claves, o en sus respuestas se apreciaban errores poco importantes:

"Sí cambiaría porque sería un sonido más agudo, porque la pajilla ofrece menos resistencia al sonido, y como al ser más larga ofrece más resistencia, el sonido será más grave".

"Sí, ya que así la pajilla tiene menos parte para vibrar. Cuanto mas larga mas grave, cuanto más corta más agudo", etc.

- Otros 15 alumnos justificaron su respuesta de una forma que podríamos calificar de incompleta, ya que en sus respuestas se apreciaban errores importantes o solamente recogían de manera ambigua alguno de los aspectos claves:

"Sí porque al haber menos materia cambia el sonido".

"Sí, porque el sonido que se produce es por el vibramiento de la pajilla, y a menor pajilla le cuesta más trabajo vibrar porque tiene menos superficie para que el vibramiento se propague".

"Sí, porque si fuera más corta el sonido sería más agudo, y si fuera más larga el sonido sería más grave", etc.

Habría que destacar que la mayoría de los alumnos hacen referencia en mayor o menor medida al cambio producido en la frecuencia. Asimismo merece la pena resaltar que muchas de las respuestas se centran en aspectos más concretos de la situación, como puede ser la longitud, relacionándolos con otros más abstractos.

s) Respecto al ítem 14 (*Se ve la sombra de un florero cuando está iluminada por una bombilla que alumbra muy poco. Luego se reemplaza la bombilla por otra que alumbra mucho. La sombra que se ve con la bombilla que alumbra muy poco es, con respecto a la bombilla que alumbra mucho: a) Mas grande, b) Del mismo valor, c) Más pequeña o d) No lo sé.*)

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 49; una gran mayoría (32/49) respondieron correctamente, es decir afirmando que la sombra sería igual y lo justificaron 20.

- De ellos, (8/20) lo hicieron de forma correcta, en base a la dependencia del tamaño del objeto o de la posición de la bombilla o a la independencia de la fuente luminosa:

"Del mismo valor; mientras la bombilla no se mueva del sitio, la sombra será igual de grande sin depender de la intensidad de la luz".

"Una sombra se produce cuando un cuerpo no deja pasar la luz, por detrás hay sombra, la sombra es igual sea cual sea la luz, mas fuerte o mas débil".

"Del mismo valor, yo creo que la luz no es lo que importa, sino el tamaño del objeto", etc.

- Otro grupo de 12 alumnos de los que respondieron de forma adecuada, dieron justificaciones parcialmente correctas, ya que eran ambiguas o contenían algún error:

"Del mismo valor, aunque más nítida que cuando la luz es más pequeña".

"Es del mismo valor, solo que la sombra será más oscura porque la luz alrededor será mayor y se notará más".

"Será del mismo valor porque lo que influye en que la sombra sea más grande o más pequeña es el cuerpo", etc.

- Otros 17 alumnos respondieron de forma errónea, es decir que la sombra no sería igual. De ellos, ocho creen que la sombra sería más pequeña y nueve que sería más grande.

En las respuestas de los alumnos a esta pregunta podemos ver que en ellas se relaciona la sombra con la nitidez. Ante el gran número que respondieron de forma correcta, podemos llegar a pensar que, la mayoría entiende el concepto de sombra como independiente de la intensidad de la fuente luminosa. También se puede apreciar que las justificaciones tienen una mayor consistencia y extensión que las de la prueba inicial, ya que en ellas se utilizan términos científicamente más correctos y mejor interrelacionados.

t) Respecto al ítem 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?: a) Las de la habitación pequeña, b) Las de la habitación grande, c) Las paredes de ambas están igualmente iluminadas o d) No lo sé.*)

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 46. De ellos, la mayoría (36/46) respondieron de forma correcta, es decir que estaría más iluminada la habitación pequeña. Un grupo de 9 alumnos respondió que las dos habitaciones estarían igual de iluminadas; y sólo uno dijo que la habitación que estaría más iluminada sería la grande.

- De los que respondieron correctamente, casi todos (34/36) justificaron su respuesta. Veinte de ellos lo hicieron en función del espacio o de la distancia:

"Las de la habitación pequeña están más iluminadas. Al estar más cerca la luz, llega con más potencia y también ilumina más (la luz viaja siempre a la misma velocidad, pero cuanto más se aleja más potencia pierde)".

"Las de la habitación pequeña, ya que llegaran las ondas luminosas con más intensidad a las paredes que en la habitación grande, que las paredes están más lejos del punto del emisor que las de la pequeña".

"Las de la habitación pequeña, porque habrá menos espacio por iluminar, por lo tanto, habrá más luz en la habitación pequeña".

"Las de la habitación pequeña, porque en menor espacio hay las mismas bombillas", etc.

- Otros 9 lo hicieron en función de la reflexión:

"Las de la habitación pequeña, porque en menos espacio hay más cantidad de luz, ya que la luz procedente de la bombilla en la habitación pequeña rebotaría más, y se reflejaría más veces en las paredes de la habitación pequeña".

"Las de la habitación pequeña, ya que se refleja la luz con más claridad".

"Las de la habitación pequeña, porque la luz reflejada en las paredes es más, pues hay menos superficie en la que reflejarse", etc.

- Un grupo de 5 lo hicieron en función de la potencia o intensidad de la bombilla y de su atenuación:

"En la habitación mas pequeña. Porque a la habitación más grande le llegan las ondas a las paredes más atenuadas que en la habitación pequeña".

"Las de la habitación pequeña, ya que la luz le llega con más fuerza", etc.

A pesar de todo y teniendo en cuenta el nivel de las respuestas de los alumnos, habría que decir que sólo 16 lo hicieron de forma plenamente satisfactoria. Se puede apreciar un cambio cualitativo respecto a la prueba inicial, ya que la mayoría considera que la velocidad de la luz no es instantánea, pero también, hay una mayor riqueza en las relaciones que establecen entre aquellas magnitudes que realmente intervienen en esta situación.

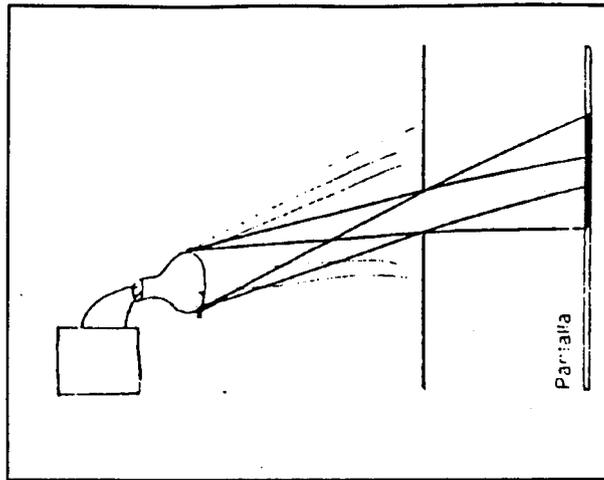
u) Respecto al ítem 16: (*¿Qué zona de la pantalla estará iluminada?*)

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba contestaron 49; la mayoría lo hizo a través de un dibujo, aunque 7 no respondieron realmente a lo que se preguntaba.

- De los 42, un grupo de 8 alumnos realizaron un dibujo correcto, uno de los cuales además lo justificó por escrito correctamente:

"Es la del dibujo, produciendo una sombra menor a los lados del punto más iluminado".

El resto de los alumnos que realizaron un dibujo correcto, simplemente hicieron pequeños comentarios alusivos al mismo.

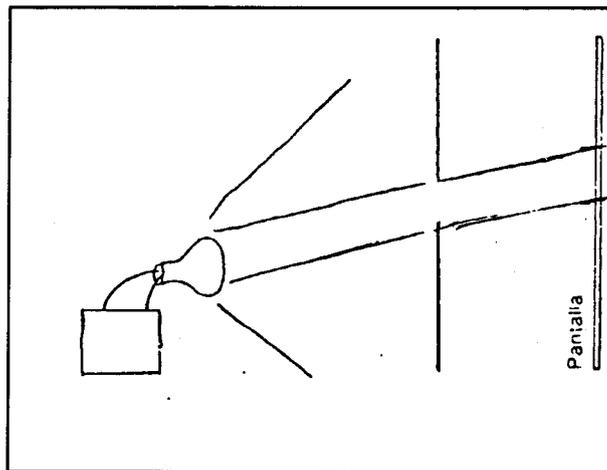


Dibujo 1

- Otros 11 alumnos realizaron un dibujo parcialmente correcto, 8 de los cuales además lo justificaron:

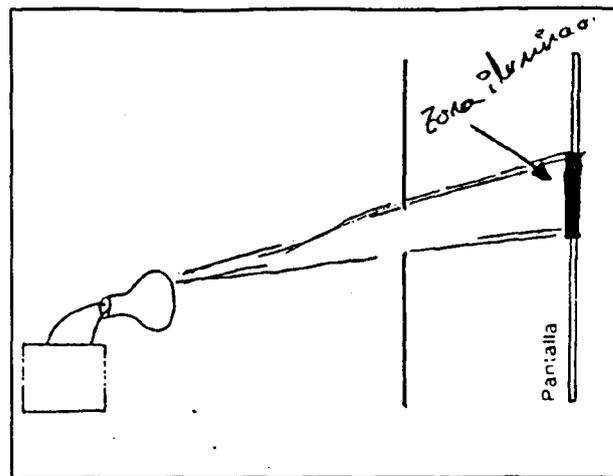
"La franja estará inclinada, porque la luz no entra en línea recta a la pantalla".

"La luz entraría por la rendija, alumbraría con más intensidad a ciertos puntos, pero también alumbraría a los otros sitios", "etc.



Dibujo 2

- Un grupo de 5 alumnos, consideraron el foco luminoso como si fuera puntual.

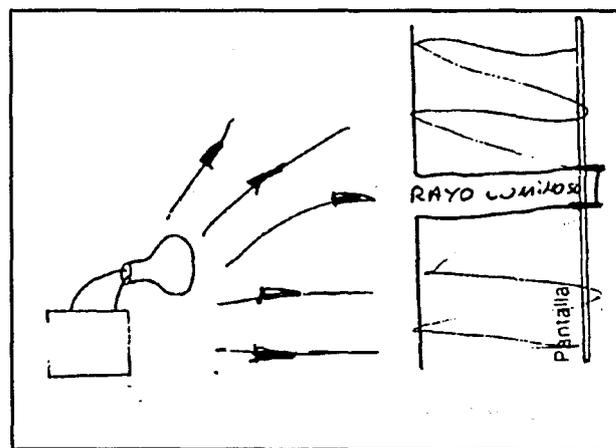


Dibujo 4

- Otro grupo de 14 alumnos dejaban 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 solamente 3 alumnos, todos de forma ambigua o errónea:

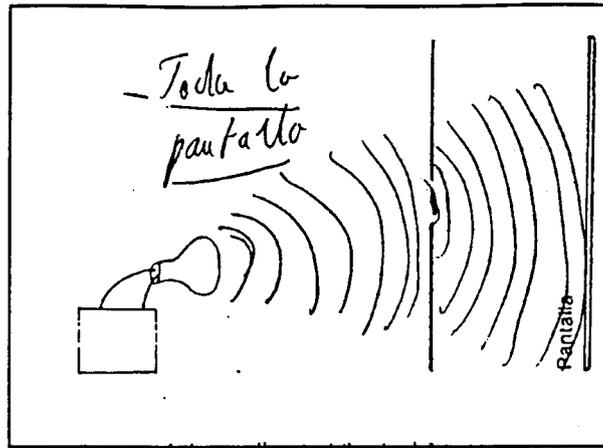
"Cuanto más se acerque el obstáculo a la pantalla, la zona que se ilumine será menor".

"La luz que pasa el agujero sufre una difracción, abriéndose el haz y alumbrando un poco más", etc.



Dibujo 3

- Cuatro alumnos responden que se iluminaría toda la pantalla, justificándolo en base al modelo ondulatorio.



Dibujo 5

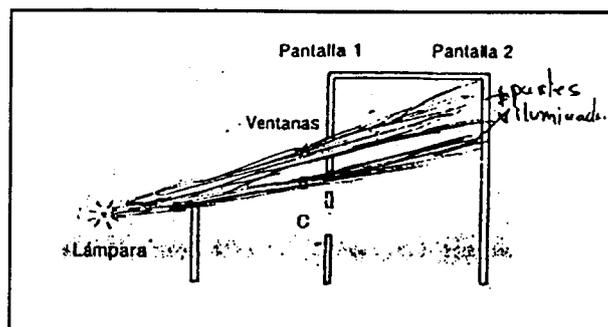
Las conclusiones que se pueden sacar de todo esto, a la vista de los diferentes tipos de respuestas, es que existe una mejora en los resultados pero, aún, han mejorado, hay un gran número de alumnos que siguen considerando la luz como manantial puntual. Por otro lado vuelve a ponerse de manifiesto, aunque en menor grado, la inseguridad que tienen a la hora de responder a cuestiones referentes al comportamiento de la luz. También es digno de resaltar el hecho de que parece que no han diferenciado en sus comentarios o dibujos los conceptos de sombra y penumbra.

v) Respecto al ítem 17 (*¿Desde qué ventanas, estando dentro, podemos ver la lámpara?, ¿Cuál de las ventanas es iluminada por la luz de la lámpara?, ¿Qué parte de la pantalla 2 está iluminada si las ventanas están abiertas?. Explicar la respuesta).*

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 44, muchos de los cuales (29/44) apoyaron su respuesta a través de un dibujo.

-Un grupo de 17 alumnos dieron una respuesta correcta, justificándola con un dibujo (la mayoría), como incluso algunos con un texto:

"Se verá la lámpara desde las ventanas A y B. La ventana B se verá un poco iluminada, y la A bastante más iluminada. Por la pantalla 2 una esquina de la luz que entra en A y por la B una pequeña parte. El punto de luz es pequeño y la pared impide que pase la luz por la ventana C".
"Se verá la lámpara desde las ventanas A y B. Las ventanas A y B se verán iluminadas. En la pantalla 1 está iluminada toda la parte de arriba y una pequeña parte entre las ventanas; y en la pantalla 2 está iluminada la parte N y la S (ver dibujo)", etc.

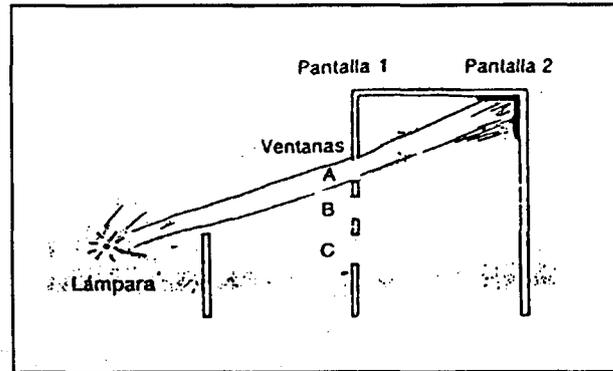


Dibujo 1

- Otros 5 alumnos dieron una respuesta incompleta o parcialmente correcta, ya que en el dibujo aclaratorio o en su comentario escrito existían algunos errores o ambigüedades:

"Se verá la lámpara desde las ventanas A y B. La ventana A se verá iluminada. Estará iluminada una esquina de la pantalla".

"Se verá la lámpara desde la ventana A que es hasta donde llegan los rayos solares. Se iluminará la ventana A por lo de antes. Estará iluminada una esquina de la pantalla (la que marca el dibujo)", etc.



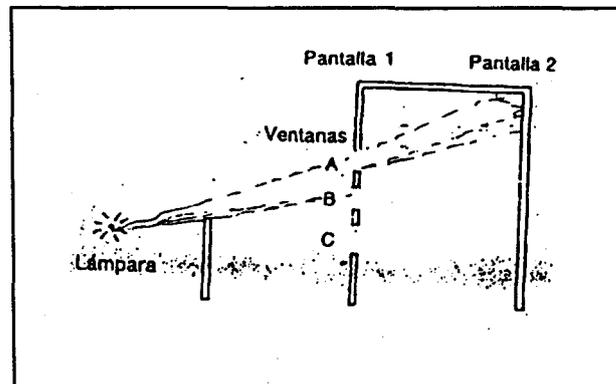
Dibujo 2

- Once alumnos dieron una respuesta bastante incompleta o incorrecta, ya que se apreciaban errores graves en el dibujo, o en su justificación:

"Se verá la lámpara desde la ventana A, ya que no obstaculiza la visión de ella el muro o pared. Las ventanas A y B se serán iluminadas".

"Desde las ventanas A y B, como la luz viaja en línea recta el obstáculo puesto en la ventana no dejaría ver la lámpara".

"Se verá la lámpara desde la ventana A. La ventana A será la más iluminada, pero a la ventana B y C también le llega luz de la lámpara. Está iluminada toda la pantalla, lo que pasaría es que en un sitio estará más iluminada que en otros, gran parte de la pantalla estará iluminada por los rayos reflejados", etc.

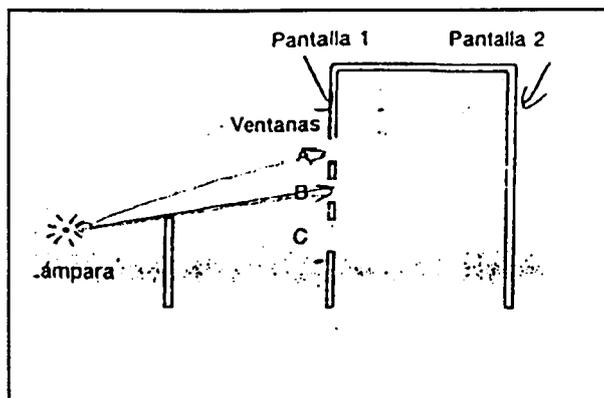


Dibujo 3

- El resto (11/44) dieron una respuesta completamente incorrecta:

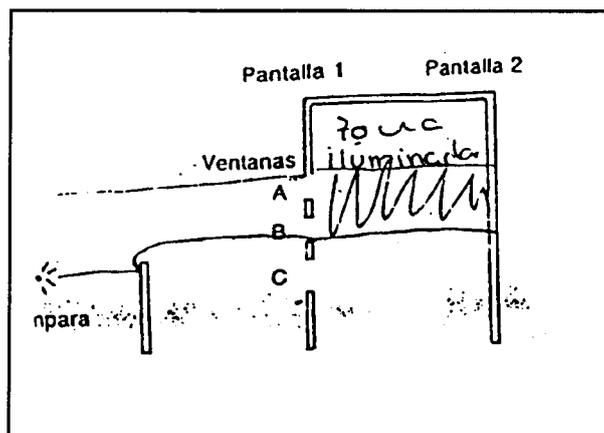
"Se verá la lámpara desde todas las ventanas. Está iluminada toda la pantalla, ya que la luz se expande e ilumina toda la pantalla, un trozo más que otro, pero toda la pantalla".

"Se verá la lámpara desde la ventana A porque está más alta. Se iluminarán todas las ventanas porque la luz se reparte por todos lados. Se ilumina toda la pantalla por la explicación anterior".
 "No se verá la lámpara desde ninguna ventana como se ve el dibujo de la fotocopia. Se iluminará la ventana A por que llegan los rayos directamente. Estará iluminada toda la pantalla, porque al entrar la luz se propaga por todas partes al ir rebotando por las paredes", etc.



Dibujo 4

- Hubo algunos en los que, de forma errónea, se podía apreciar en el dibujo el establecimiento de una dirección prioritaria para la luz, siempre hacia la pantalla.



Es palpable que existe una gran relación entre la calidad del dibujo y la de la justificación, de tal manera que podemos establecer que cuanto más correcto es el primero mejor es la segunda. En un gran número de casos, establecieron una reciprocidad correcta entre las ventanas que estarían iluminadas por la luz de la lámpara y desde las que se vería la lámpara.

También es de destacar la importancia que los alumnos de la muestra le atribuyen a la luz reflejada frente a la luz directa; o la poca importancia que le conceden a los rayos de luz, por lo que consideran innecesario dibujarlos, si ya está señalada la zona iluminada.

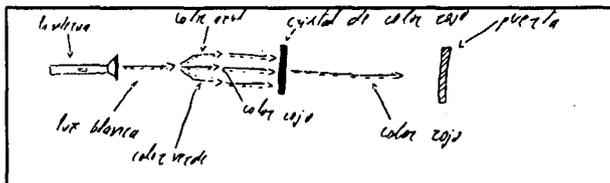
w) Respecto al ítem 18 (*La luz de una linterna se proyecta sobre una puerta. Una mancha de luz blanca puede verse sobre la misma puerta. Una lámina transparente de cristal rojo se coloca delante de la linterna. Una mancha de luz roja se ve en la puerta. Explica cómo la lámina de cristal cambia el color de la mancha de blanco a rojo. Añade un dibujo a tu explicación si lo deseas.*).

- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, contestaron 40. De estos, 12 dieron una respuesta completa y correcta, la mayoría (11/12) realizando además un dibujo de apoyo:

"La luz natural se divide en tres colores: rojo, azul y amarillo; en la puerta se ve blanca porque refleja los tres colores. Al pasar la lamina roja, la luz solo tiene el color rojo, y al reflejarse en la puerta, los otros dos colores (azul y amarillo) no están y por eso se ve roja".

"La mancha de la puerta es roja porque la lamina de color rojo absorbe todos los colores, menos el rojo, y refleja o deja pasar la luz roja".

"La luz blanca tiene todos los colores, al pasar por el papel rojo todas los colores son absorbidos menos el rojo que es lanzado hacia la puerta", etc.



- Otro grupo de 5 dieron una respuesta incompleta o parcialmente correcta (ninguno de los cuales hizo un dibujo aclarativo), ya que en su justificación existían algunos errores o ambigüedades:

"El papel rojo absorbe los demás colores y rebota el rojo, y da en la puerta y llega a nuestros ojos".

"Si la puerta es marrón y conectamos la linterna a la puerta, la luz de la linterna es blanca y al pasar el papel rojo se convierte en rojo. Esto es porque la puerta refleja todos los colores, porque con todos los colores juntos se forma el blanco, y al poner la linterna delante de un papel rojo, la puerta refleja el rojo y absorbe todos los colores sobrantes", etc.

- Otros 14 dieron una respuesta bastante incompleta o incorrecta, ya que se apreciaban errores o carencias graves en su justificación:

"La puerta sería de color blanco para que reflejara todas las radiaciones. El color que se ve es el color que se refleja; porque si se ve blanca se reflejan los tres colores".

"Porque la luz al salir de la linterna traspasa la lamina roja y además choca con ella, entonces se produce esa luz".

"El cristal actúa de filtro, y esto demuestra que la luz es del color del cristal por el que se mira", etc.

- El resto de los alumnos (9/40) dieron una respuesta completamente incorrecta, ya que no respondían realmente a lo que se les había preguntado o daban una explicación incoherente o contradictoria:

"Esto es debido a que la luz blanca tiene todos los colores y la mancha blanca igual desprende todos los colores, al ser la mancha roja se desprenden los colores amarillo y azul y la roja lo absorbe que es lo que le da el color".

"La mancha roja se ve porque como la puerta permite el rebote de todos los rayos que emiten una luz, hace que el rojo rebote y se vea de color rojo".

"Porque como el blanco refleja todos los colores, en este caso si el color que llega a él es rojo, pues reflejaría rojo y se verá rojo", etc.

Vuelve a aparecer de nuevo la gran relación existente entre la realización y calidad del dibujo, con la de la justificación. También se observa que muchos alumnos consideran todavía que el color se produce al colocar un filtro de ese color; de manera que para que una cosa se vea roja hay que colocar un filtro de color rojo.

x) Respecto al ítem 19 (*Cuando el Sol está delante de tí, ¿dónde está tu sombra?. Explica detenidamente tu respuesta*).

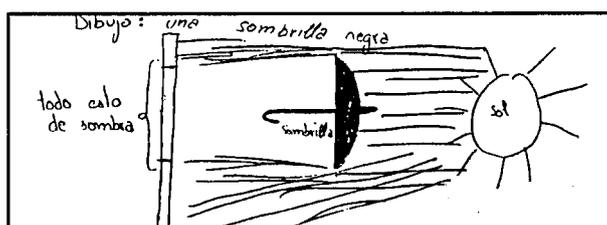
- De los 51 alumnos que realizaron la prueba, 50 contestaron, casi todos (47/50) eligiendo la opción correcta, es decir que su sombra estará detrás de él.

- De ellos, 15 justificaron adecuada y completamente sus afirmaciones desde el punto de vista científico, haciendo referencia al cuerpo opaco o realizando un dibujo adecuado:

"Detrás de mí ya que el Sol emite unas ondas luminosas, y cuando llegan a mí no pueden pasar, son como absorbidas, y la sombra será de la misma superficie que la de mi cuerpo. No pasan ya que mi cuerpo es un cuerpo opaco y no deja pasar la luz solar".

"Detrás de mí, ya que los rayos me dan de frente y al ser un cuerpo opaco el rayo no me traspasa".

"Detrás de ti, porque al darnos la luz del Sol, y nosotros ser un cuerpo opaco la velocidad en nuestro cuerpo es cero y no pasa la luz", etc.



- Otro grupo de 13 alumnos, justificaron su respuesta de forma prácticamente completa y correcta, aunque la explicación se expresaba en términos más coloquiales que en los casos anteriores:

"Detrás mío, ya que yo impido el paso de la luz detrás mío".

"Detrás de ti, porque ofreces resistencia al paso de la luz, y creas una sombra al ser un obstáculo".

"Detrás de ti, porque llega la luz, choca con un objeto y hay zonas con luz y zonas con sombra, y la sombra se produce detrás o al contrario de donde está la luz", etc.

- Un grupo de 12 alumnos, utilizó para la justificación un lenguaje coloquial lleno de ambigüedades e imprecisiones:

"Detrás, al dar el Sol de frente, tu cuerpo se interpone entre la luz del Sol, y se forma una sombra".

"Porque la luz no pasa por el cuerpo y solo se ve la silueta detrás".

"La sombra estará detrás de ti. Al tener el Sol delante de ti, te proyecta los rayos quedando la sombra detrás de ti", etc.

- Siete alumnos que contestaron correctamente no justificaron su respuesta o lo hicieron de forma casi completamente errónea:

"Está detrás de ti, porque es como si tapase los rayos del Sol".

"Al chocar los rayos del Sol contra mí, la sombra estará detrás de mí".

"La sombra está detrás porque el obstáculo es la persona y tapa la luz a él", etc.

Todo ello parece indicar, a la vista de los buenos resultados de la pregunta, que empieza a vislumbrarse en estos alumnos la aparición de un mecanismo coherente sobre la formación de las sombras, aunque dificultado, en

algunos casos, por el hecho de poseer todavía unas concepciones más próximas a las de luz-fuente o luz-efecto que a la concepción científica.

y) Respecto al ítem 20 (*Señala en el dibujo siguiente, la sombra del árbol que está en posición correcta*)

- De los 51 que realizaron la prueba, tres no contestaron y, de los que lo hicieron, casi todos ellos (45/48) eligiendo la opción correcta. De los resultados obtenidos, únicamente es posible deducir que son capaces de ubicar correctamente la posición de la sombra.

Conclusiones de la descripción de los resultados

Podemos hablar de dos tipos de conclusiones; unas de carácter más general y otras en relación con los contenidos específicos de referencia. En cuanto a las primeras podemos establecer tras este análisis las siguientes:

a) Se detectaba todavía, que una de sus grandes dificultades era la utilización del aparato matemático necesario, aunque hemos observado mejoras respecto a la prueba inicial en muchas de las respuestas. Este escollo va más allá del cálculo matemático y creemos que tiene su origen en la complejidad que tiene para ellos traducir el mensaje cualitativo a lo cuantitativo. También es fácil observar la dificultad que tenían a la hora de extraer conclusiones de una relación matemática, que lógicamente se proyecta en la interpretación de fenómenos o conceptos, tanto más cuanto más abstractos eran.

b) Hay un gran número de justificaciones que aparecían en las respuestas, incluso, en aquellos casos en los que no se pedía. Como hecho relevante destacamos que, en la mayoría de las ocasiones, hacían alusión a casi todos los conceptos claves implicados. Hay que destacar, además, la diversidad de soluciones que se proponían y la combinación de varios factores en las contestaciones. De todo ello, podríamos establecer por un lado que los alumnos estaban habituándose cada vez más a justificar sus afirmaciones y que, éstas suponían un conocimiento más profundo de lo que se está preguntando.

c) Es interesante resaltar que muchas de las respuestas se iniciaban en los aspectos más concretos de la situación y avanzaban hacia los más abstractos. También se podía observar la aparición, con una mayor frecuencia, de aclaraciones gráficas, diagramas, dibujos, ejemplos, etc.; así como, que estos eran más rigurosos y de una mayor consistencia científica. Teniendo en cuenta la gran relación existente entre todo ello y la calidad de la respuesta, podemos inferir que esto definía un buen nivel. A pesar de todo, todavía se detectan limitaciones, ya que en algunos casos, parecían justificar su respuesta sin ampliar o profundizar lo suficiente en todos los aspectos implicados.

Todo ello parece indicar que disponían de un cuerpo de conocimientos coherente y que utilizaban esquemas conceptuales apropiados para poder explicar de manera satisfactoria mecanismos o fenómenos relacionados con las Ondas. En cuanto a las segundas:

- Son capaces de identificar el movimiento ondulatorio y de diferenciarlo del corpuscular, diferenciando entre el transporte de materia y el de energía. Asimismo, han sido capaces de identificar en su mayoría lo que es una onda, sin confundirlas con los generadores o receptores correspondiente, y sus principales características, relacionando para ello de forma correcta, diversos conceptos entre sí, especialmente en el caso de la propagación de las ondas.

- Para justificar el comportamiento y las propiedades de los movimientos ondulatorios dejaban entrever en sus respuestas el abandono del modelo corpuscular, siendo en esta ocasión mucho más abundantes los alumnos que utilizaban el modelo científico.

- También se observa que eran capaces de diferenciar, dentro de los movimientos ondulatorios, el transversal y el longitudinal, aunque la mayoría no eran capaces de justificarlo.

- Podemos considerar que relacionaban adecuadamente la propagación del sonido con el medio o con la materia, así como que parecían disponer de un modelo cercano al modelo científico sobre la propagación de las ondas. De tal manera que, aunque la mayoría relacionaban el aumento de velocidad con la unión entre partículas, las justificaciones no tenían una gran consistencia.

- Han sido capaces de interpretar el fenómeno de la reverberación y de diferenciarlo, no en todos los casos, del de eco; lo que parecía indicar que disponían de mayores conocimientos que en la prueba inicial, en la que no sabían explicar estos fenómenos.

- Identificaron correctamente el sonido como onda, justificándolo en función de las propiedades de las ondas, lo que dejaba entrever un conocimiento más profundo que unos meses atrás, ya que eran capaces de aplicarlo en situaciones concretas.

- En el caso de la luz es más complicado establecer conclusiones, porque volvía a ponerse de manifiesto, aunque en menor grado, la inseguridad que tenían para responder a cuestiones referentes al comportamiento de la luz.

- Relacionaban sombra con nitidez, de tal manera que, la mayoría entendía el concepto de sombra como independiente de la intensidad de la fuente luminosa. También es digno de resaltar el hecho de que parece que no han llegado a diferenciar los conceptos de sombra y penumbra, ya que un gran número de alumnos seguían considerando la luz como manantial puntual. A pesar de todo, empieza a vislumbrarse la aparición de un mecanismo coherente sobre la formación de las sombras, aunque dificultado, en algunos casos, por poseer todavía unas concepciones próximas a las de luz-fuente o luz-efecto.

- La mayoría consideraba que la velocidad de la luz no es instantánea, a lo que habría que añadir una mayor riqueza en las relaciones que establecían entre las magnitudes que realmente intervienen en esta situación.

- Parecían dominar mucho mejor la reflexión que la refracción de la luz, tanto en el aspecto gráfico como en el conceptual, destacando la importancia que le atribuían a la luz reflejada frente a la directa. También eran capaces de establecer la relación existente entre el índice de refracción de un medio y la velocidad de propagación de la luz en el mismo.

- Eran capaces de utilizar correctamente el modelo científico de visión, abandonando la consideración de la luz sólo sirve para iluminar el objeto, es decir que han abandonado la creencia de que el ojo "ve" sin que haya nada que le una al objeto.

Como hechos a destacar de una forma especial, respecto a los contenidos procedimentales, podríamos indicar:

- el gran número de diseños completos y correctos que aparecían. Estos, tenían unas características similares muy interesantes que los definían: reales y factibles, materiales asequibles y bastante concretos ya que, en general, había pocas divagaciones.

- en relación al control de variables, en cambio hemos observado un mantenimiento de los problemas que habíamos detectado en la prueba inicial y, aunque ha habido ligeros progresos, no nos sentimos del todo satisfechos con los resultados obtenidos.

C.5.2.2. Descripción de los resultados por esquemas de la prueba final de contenidos conceptuales

Además de hacer una descripción detallada de las respuestas que los alumnos dieron a las preguntas de la prueba final, nos parece necesario, igual que en la inicial, establecer y describir cuáles son los esquemas o estructuras de razonamiento que subyacen en sus contestaciones. El proceso de transformación de contestaciones fue descrito con anterioridad y algunos ejemplos aparecen en el Anexo 4; nos centraremos en la especificación de los resultados obtenidos.

Esquemas de las magnitudes ondulatorias

Igual que hicimos anteriormente los esquemas de las magnitudes ondulatorias se han extraído prioritariamente de las respuestas a determinadas preguntas, que en este caso son las que aparecen en el Cuadro 5.1.

Item	Enunciado
12c	- Comenta la siguiente frase: A mayor longitud de onda mayor velocidad.
12d	- Comenta la siguiente frase: A mayor frecuencia mayor amplitud.
13	- Imagínate que estamos soplando a través de una pajilla de tomar refrescos. ¿Cambiaría el sonido si la pajilla fuera más corta?. ¡Explicalo!.

Cuadro 5.1

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 5.1.; los esquemas a los que se hace referencia se representan en la figura 5.1 (página siguiente).

Esquema	0	3	4	4c	5	5a	7	7a	8
Frecuencia	7	6	1	10	7	9	4	1	6
Porcentaje	13.73	11.76	1.96	19.61	13.73	17.65	7.84	1.96	11.76

Tabla 5.1

Con respecto a la prueba inicial, en la que hubo 15/51 alumnos que no respondieron o que de sus respuestas no era posible establecer un modelo; se puede observar que esta vez hubo un número menor de alumnos (7/51) en esas circunstancias. Hay que resaltar también que no se utilizaron los esquemas más elementales utilizados entonces, de tal manera que nadie hizo uso de los modelos *MO-1*, *MO-1a*, *MO-1b* y *MO-2*, lo que ya de por sí constituye un avance.

El primer modelo que se usó *MO-3* también apareció en la prueba inicial, aunque esta vez por seis alumnos; mientras que del *MO-3a* no hizo uso ninguno.

El modelo *MO-4* ha sido utilizado por uno, mientras que de los *MO-4a* y *MO-4b* tampoco se hizo uso. En el esquema denominado *MO-4c* (utilizado por diez alumnos), que no apareció en la prueba inicial, se le atribuyen al sonido dos características independientes entre sí, la velocidad de propagación, que no se relaciona con la longitud de onda, y la amplitud (propia de los movimientos ondulatorios), que se relaciona incorrectamente con la frecuencia.

El que hemos llamado *MO-5* (utilizado por siete alumnos), es muy parecido al modelo anterior *MO-4c*, ya que contiene solamente una magnitud más que aquél, pero con la diferencia importante de relacionar la velocidad de

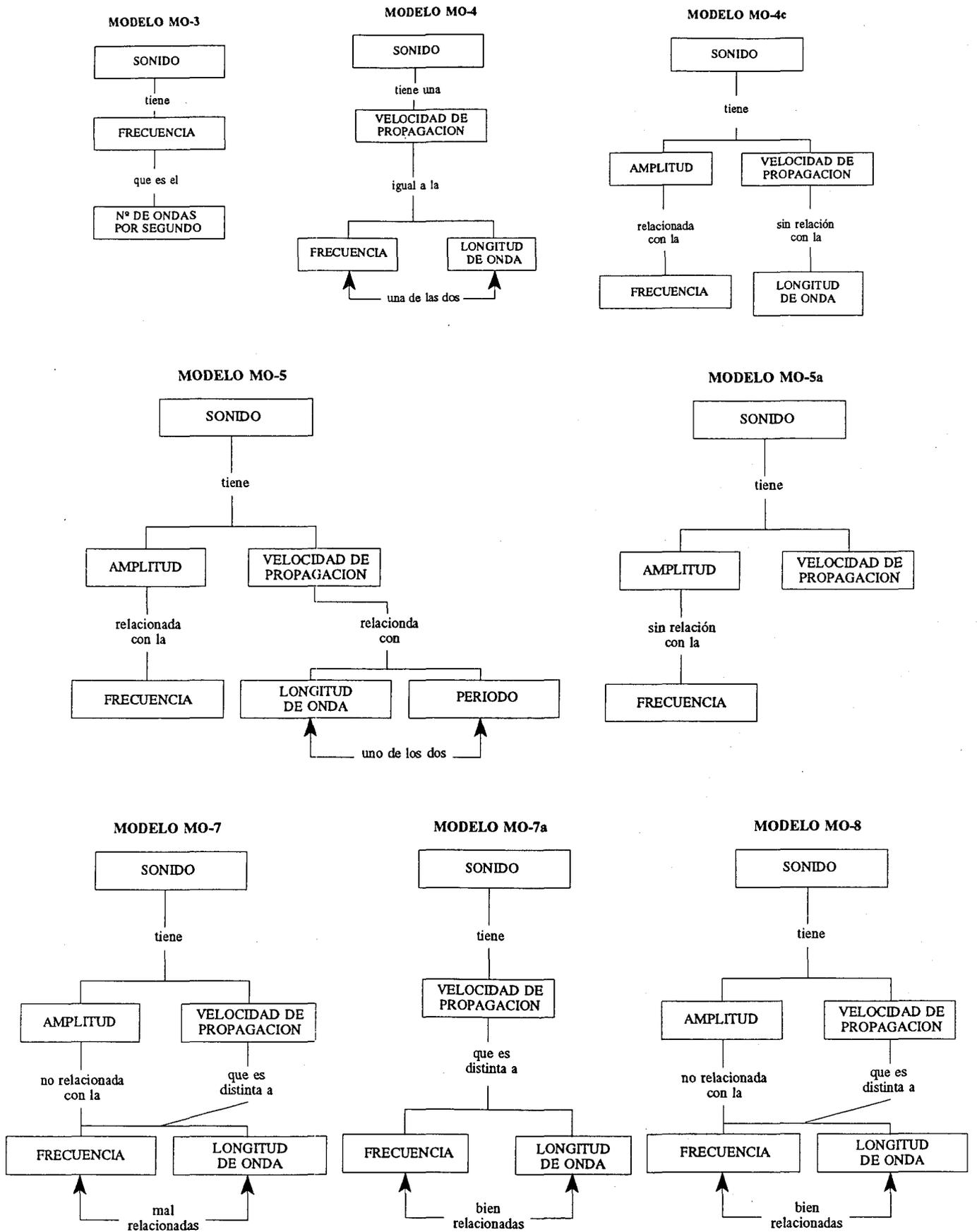


FIGURA 5.1

propagación con la longitud de onda o con el periodo. El modelo que hemos denominado *MO-5a* (utilizado por nueve alumnos), vuelve a insistir en las mismas magnitudes fundamentales, aunque no establece la relación errónea entre la amplitud y la frecuencia.

El esquema *MO-6* no fue usado ahora por ninguno. Otro modelo, que hemos denominado *MO-7* (utilizado por cuatro alumnos), amplía el número de magnitudes y, aunque no las identifica totalmente, establece diferencias entre velocidad de propagación, longitud de onda y frecuencia; no obstante, incluye una relación incorrecta entre ésta y la longitud de onda. En el modelo *MO-7a* (utilizado por un alumno), se aprecia un menor número de variables, ya que no incluye la amplitud, pero establece una relación correcta entre longitud de onda y frecuencia.

El último modelo, denominado *MO-8* (utilizado por seis alumnos) y lógicamente el más completo, tiene una estructura parecida al *MO-7a*, aunque científicamente es más acertado, ya que incluye una relación correcta entre longitud de onda y frecuencia.

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

- los alumnos de la experiencia continúan considerando el sonido como la onda principal y el resto de las ondas de manera complementaria.
- es posible detectar que en general han utilizado un mayor número de magnitudes diferenciadas y de relaciones entre ellas, aunque no en todos los casos sean capaces de justificarlas.
- se aprecia también que han disminuido los frecuentes errores conceptuales que se detectaban al principio, siendo muy pocos los casos en los que, por ejemplo, se sigue identificando la longitud de onda con el alcance o la frecuencia con la sintonía de la radio, aunque se mantenga en más ocasiones de las que sería de desear la dependencia entre la amplitud y la frecuencia.
- se echa de menos en algunos de los modelos, que no se relacione la velocidad de propagación de la onda con su longitud de onda, el periodo y la frecuencia.

Esquemas de la propagación del sonido

En esta ocasión los esquemas de la propagación del sonido se han extraído prioritariamente de las respuestas a determinadas preguntas, que en este caso son las recogidas en el Cuadro 5.2.

Item	Enunciado
2	- Diseña una experiencia para comprobar que el sonido es un movimiento uniforme.
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.
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)
8	- Todo el mundo sabe que los sonidos se oyen mejor debajo del agua. ¿Podrías dar una explicación a este hecho?
10	- Si le damos un golpe a un diapasón, y luego tocamos la superficie del agua con dicho diapasón; 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?. ¡Explicalo!.
11d	- Explica la afirmación: La velocidad de cualquier sonido en el vacío es cero.
11e	- Explica el por qué de esta afirmación: El sonido se propaga mejor a más temperatura.
12a	- Comenta la siguiente frase: La luz y el sonido son ondas.

Cuadro 5.2

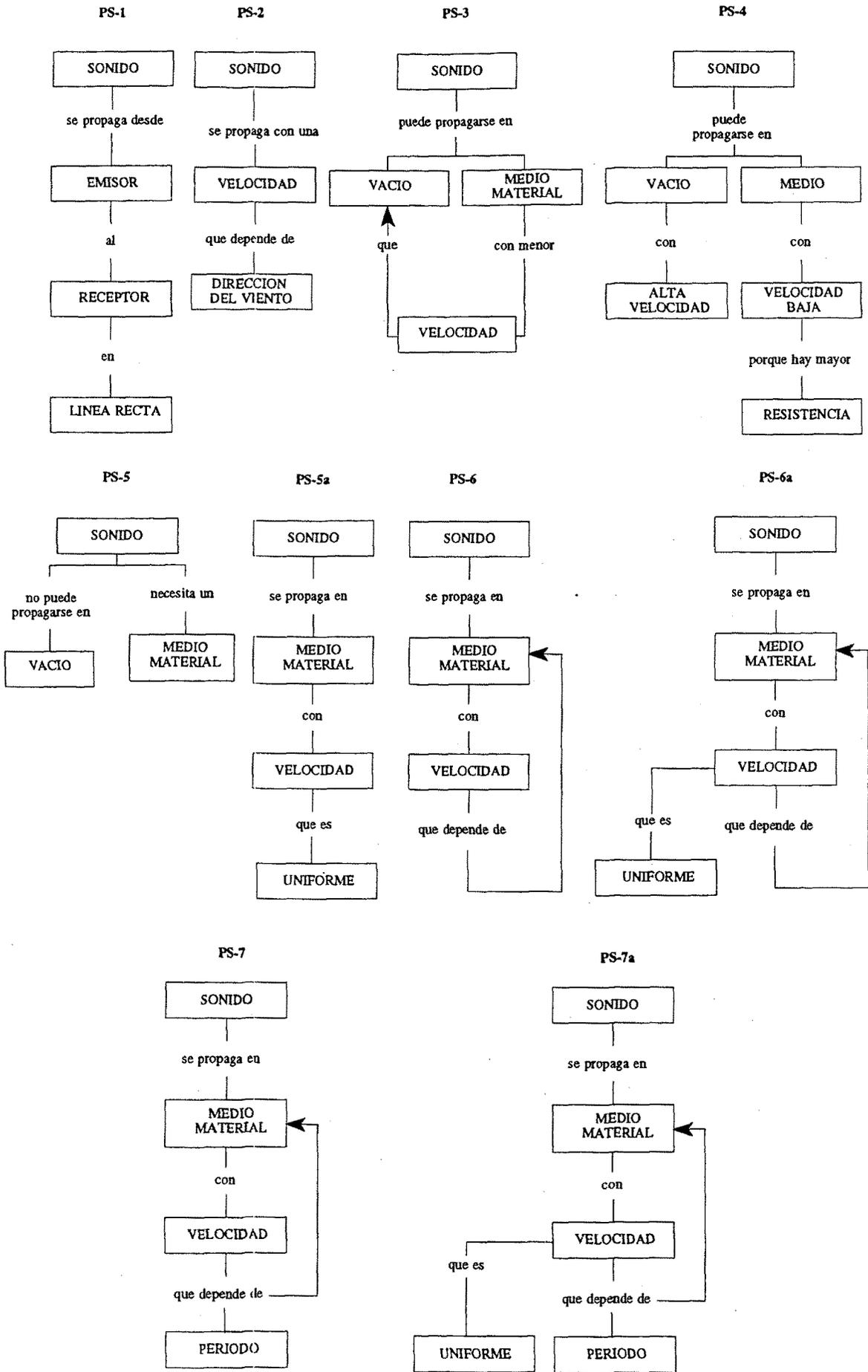


FIGURA 5.2

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 5.2. Los esquemas a los que se hace referencia se recogen en la Figura 5.2 (página anterior)

Esquema	0	1	2	3	4	5	5a	6	6a	7	7a
Frecuencia	0	1	1	1	3	8	2	12	12	3	8
Porcentaje	0	1.96	1.96	1.96	5.88	15.69	3.92	23.53	23.53	5.88	15.68

Tabla 5.2

Los primeros modelos, *PS-1*, *PS-2* y *PS-3*, descritos en la prueba inicial, fueron utilizados por un alumno cada uno. Mientras que el esquema *PS-4* fue utilizado por tres y el *PS-5* por ocho.

El modelo *PS-5a* (que no se usó en la prueba inicial), fue utilizado por dos y en él se detecta un avance en la conceptualización de la propagación del sonido, en la que destaca cualitativamente la necesidad de que la misma se realice en un medio material y cuantitativamente que dicha propagación se lleva a cabo con la misma velocidad.

El modelo *PS-6*, que era el más complejo de los que se utilizó en la prueba inicial (aunque sólo por un alumno), es ahora utilizado por doce. El *PS-6a*, utilizado por otros doce alumnos, es una versión mejorada del anterior, ya que, aunque en él aparecen el mismo número de variables, se incluye una relación que es decisiva desde el punto de vista científico: el medio y la velocidad de propagación del sonido.

El esquema *PS-7*, utilizado por tres alumnos, es análogo al anterior en tanto que considera la necesidad del medio para la propagación de la onda (el sonido en este caso) y la relación que éste tiene con la velocidad de propagación. Aunque no considera que sea constante, en cambio añade que dicha velocidad depende del periodo, cosa que no había ocurrido antes.

En el modelo *PS-7a*, utilizado por ocho alumnos y que podemos considerar el más completo de todos, se aprecia que no sólo establece la necesidad del medio en la propagación de la onda y su dependencia con la velocidad, sino que se incluyen las dos características más: que ésta depende del periodo y que, además, ha de ser siempre constante en un mismo medio.

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

- es posible apreciar nuevos modelos que podemos considerar mucho más completos y coherentes que los de la prueba inicial y un mayor número de alumnos que hacen uso de los más complejos.
- el establecimiento de la relación entre el medio donde se propaga la onda y la velocidad de propagación de ésta, supone a nuestro entender un abandono de las posturas más cercanas al modelo corpuscular y un acercamiento al modelo ondulatorio.
- consideran que es necesaria la existencia de un medio para la propagación del sonido; es decir que no lo hace en el vacío.
- se establece por primera vez una relación cuantitativa en varios de los modelos, ya que se afirma que la propagación del sonido ha de ser de manera que su velocidad sea constante, relacionándola con el periodo.

Esquemas de la reflexión del sonido

En esta ocasión los esquemas de la reflexión del sonido se han extraído prioritariamente de las respuestas a determinadas preguntas, que en este caso están recogidas en el Cuadro 5.3.

Item	Enunciado
11b	- Explica el por qué de esta afirmación: En una habitación vacía es muy difícil entender lo que dice una persona.
12a	- Comenta la siguiente frase: La luz y el sonido son ondas.

Cuadro 5.3

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 5.3. Los esquemas a los que se hace referencia se representan en la Figura 5.3 (página siguiente)

Esquema	0	1	2	2b	3	4	5	6	7
Frecuencia	4	1	6	4	10	3	15	6	2
Porcentaje	7.84	1.96	11.76	7.84	19.61	5.88	29.41	11.76	3.92

Tabla 5.3

Hubo solamente cuatro alumnos con los que no fue posible establecer un modelo por ausencia de las suficientes respuestas, lo que contrasta enormemente con los dieciséis de la prueba inicial. Los modelos *RS-1* y *RS-2*, utilizados entonces profusamente, lo fueron en esta ocasión de forma escasa; así el primero fue usado por un alumno y el segundo por seis.

El esquema *RS-2a* no apareció esta vez. Sin embargo, se observa un nuevo modelo, que hemos denominado *RS-2b*, que tiene gran parecido con todos los otros del nivel 2; sigue considerando el sonido como una onda y su reflexión como fruto del rebote que ésta puede sufrir, aunque lo relaciona con las interferencias que pueden producirse al chocar éste con una pared.

Otros modelos que aparecieron en las respuestas de la prueba inicial, también aparecieron aquí como el *RS-4* que fue utilizado por tres alumnos y el *RS-5* que lo fue por quince. A partir de aquí todos los esquemas son nuevos.

Así tenemos el *RS-6* (utilizado por seis alumnos) y el *RS-7* (utilizado por dos alumnos) que ampliaban la estructura de los precedentes. En el primero de ellos se estimaba el sonido como onda y la reflexión como el rebote de la misma que producía, en determinadas circunstancias, una onda reflejada (eco), que llegaba más tarde a nuestros oídos. Mientras que en el segundo modelo se añadía a todo esto, que esa onda reflejada ha de cumplir las leyes de la reflexión.

A la vista de los resultados referidos a la reflexión del sonido podemos decir:

- es posible apreciar que la mayoría de los modelos han dejado de ser piramidales, estableciéndose en muchos de ellos relaciones cruzadas, lo indica una concepción más completa de la reflexión.
- se detecta también que han dejado de ser fundamentalmente descriptivos, ya que en muchos de ellos no se limitan a comentar características o propiedades del sonido, sino que establecen justificaciones o explicaciones de lo que afirman, apareciendo en los nuevos esquemas abundancia de términos que se pueden considerar más científicos y rigurosos.
- se mantiene, como ocurría al principio la presencia del eco en todos los modelos, desde los más sencillos a los más complicados, aunque ahora la concepción parece más correcta científicamente.
- también se aprecia en los esquemas más completos, que empiezan a considerar la reflexión del sonido desde el punto de vista cuantitativo, apareciendo por primera vez el tiempo relacionado con el eco y las leyes de la reflexión.

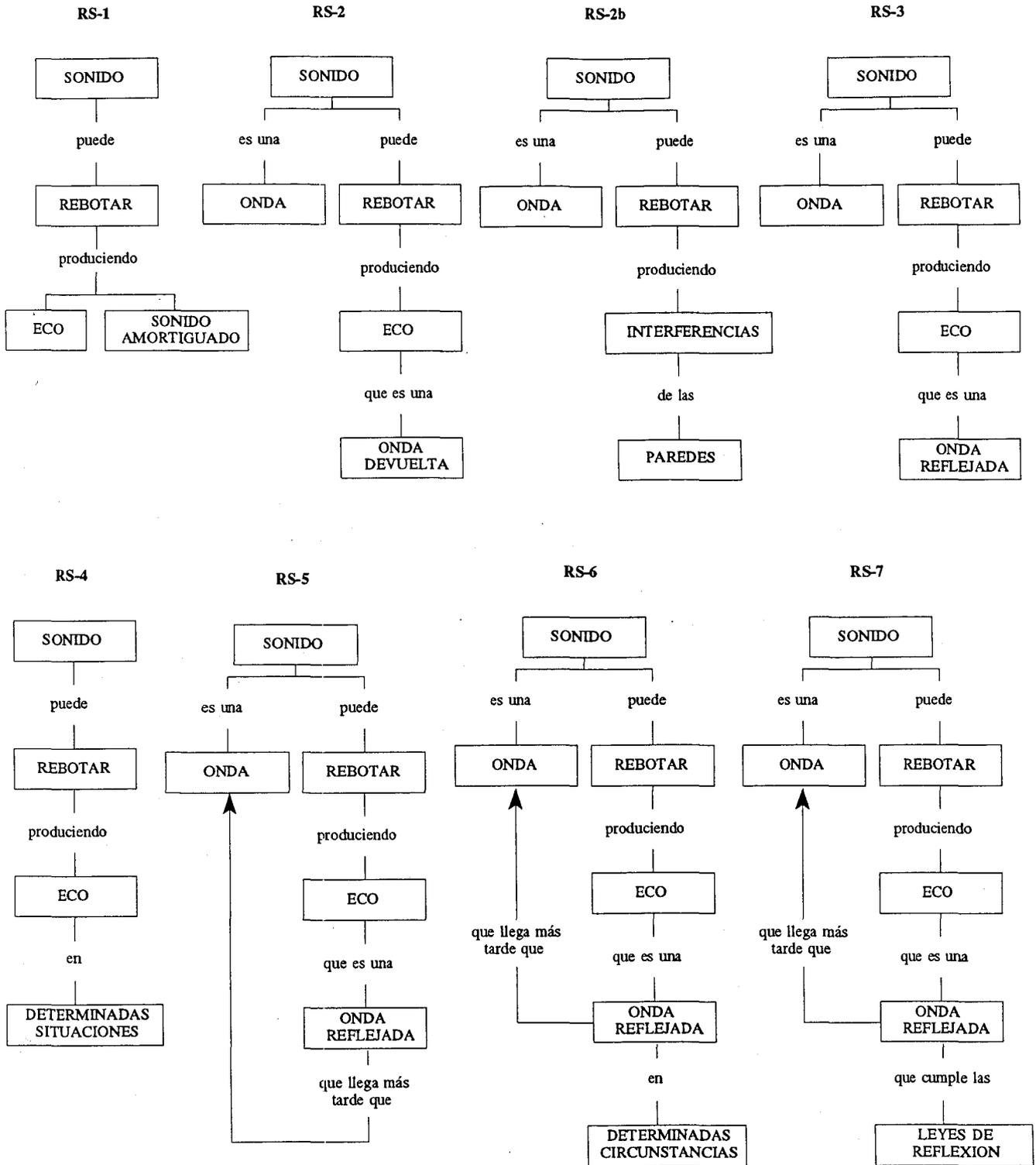


FIGURA 5.3

Esquemas de la naturaleza de la luz

En esta ocasión los esquemas de la naturaleza de la luz se han extraído prioritariamente de las respuestas a determinadas preguntas, que en este caso son las recogidas en el Cuadro 5.4.

Item	Enunciado
6	- El índice de refracción del agua es 4/3 y el del vidrio 3/2. ¿En cuál de esas sustancias se propaga la luz a mayor velocidad?, ¿Cuál es mas refringente?.
11a	- Explica el por qué de esta afirmación: Los faros de los automóviles llevan detrás del foco luminoso un espejo parabólico.
12a	- Comenta la siguiente frase: La luz y el sonido son ondas.
12b	- La luz está formada por corpúsculos.
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?: Las de la habitación pequeña, Las de la habitación grande, Las paredes de ambas están igualmente iluminadas, No lo se.
16	- ¿Qué zona de la pantalla estará iluminada (ver Apéndice VI)?.
17	- ¿Desde qué ventanas, estando dentro, podemos ver la lámpara?, ¿Cuál de las ventanas es iluminada por la luz de la lámpara?, ¿Qué parte de la pantalla 2 está iluminada si las ventanas están abiertas?. Explicar la respuesta. (Ver Apéndice VI)
18	- La luz de una linterna se proyecta sobre una puerta. Una mancha de luz blanca puede verse sobre la misma puerta. Una lámina transparente de cristal rojo se coloca delante de la linterna. Una mancha de luz roja se ve en la puerta. Explica cómo la lámina de cristal cambia el color de la mancha de blanco a rojo. Añade un dibujo a tu explicación si lo deseas.
19	- Cuando el Sol está delante de tí, ¿dónde está tu sombra?. Explica detenidamente tu respuesta.
20	- Señala en el dibujo siguiente (ver Apéndice VI), la sombra del árbol que está en posición correcta.

Cuadro 5.4

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 5.4. Los esquemas de referencia se recogen en la Figura 5.4 (página siguiente).

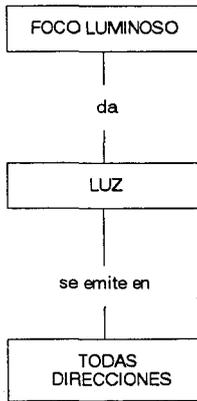
Esquema	0	4a	5	6	6a
Frecuencia	2	12	20	7	10
Porcentaje	3.92	23.53	39.22	13.73	19.61

Tabla 5.4

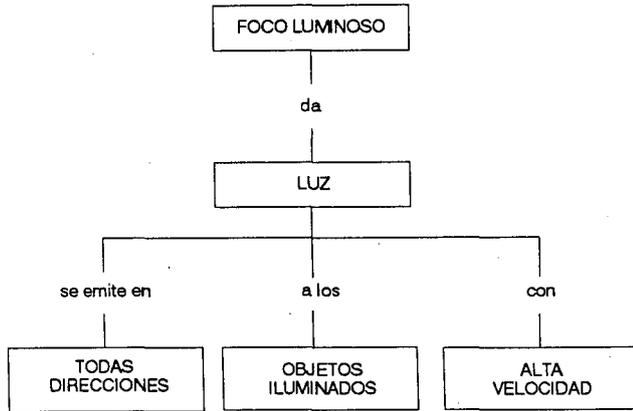
Los modelos *NL-1*, *NL-1a*, *NL-2*, *NL-3*, *NL-3a* y *NL-4* que fueron utilizados en la prueba inicial, no aparecen esta vez. El modelo más elemental que se usó, que hemos llamado *NL-4a* (utilizado por doce alumnos), es bastante lineal y en él se establece que el foco luminoso da luz y que ésta se propaga en todas direcciones. El denominado *NL-5*, que ya fue utilizado, se usó esta vez por veinte alumnos.

El modelo *NL-6* (utilizado por siete alumnos) denota una concepción ondulatoria, diferencia la luz del foco luminoso, le atribuye que su propagación se realiza en todas direcciones y que lo hace con una velocidad alta. Lo mismo ocurre en el modelo *NL-6a* (utilizado por diez alumnos), pero ahora desde el punto de vista corpuscular.

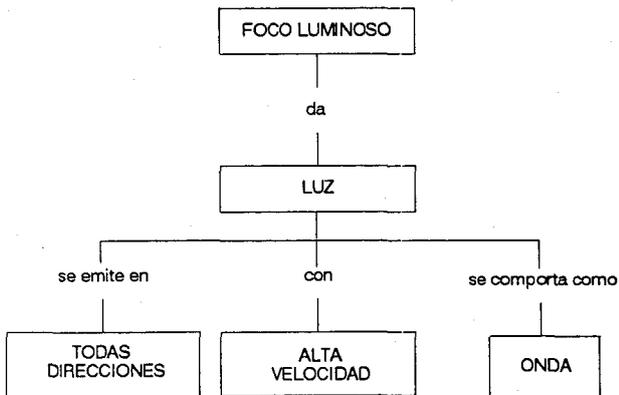
MODELO NL-4a



MODELO NL-5



MODELO NL-6



MODELO NL-6a

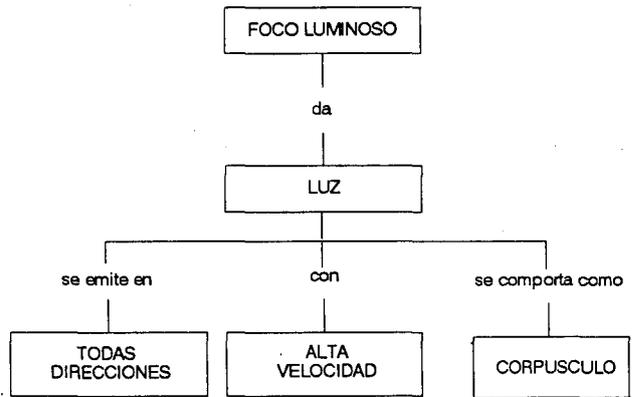


FIGURA 5.4

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

- hay que resaltar que nadie utilizó ninguno de los siete primeros modelos de la prueba inicial y que fueron sustituidos por otros que evidentemente eran más completos y presentaban menos carencias.

- no obstante, hay bastantes alumnos aún que no tienen una verdadera concepción de la naturaleza de la luz, limitándose a describir alguna de sus propiedades como puede ser su emisión en todas direcciones.

- en cambio sí es posible apreciar que se ha abandonado la idea de la velocidad infinita de la luz, atribuyéndosele sólo una gran velocidad.

- un gran número no se comprometen a afirmar si la naturaleza de la luz es corpuscular u ondulatoria, aunque ahora hay más alumnos que se han cuestionado el problema.

- de los que se comprometen a afirmar la naturaleza de la luz, hay más opiniones favorables a considerarla como corpúsculo que como onda aunque, en ningún caso, se contempló desde la doble vertiente corpuscular/ondulatoria. Estos resultados, aparentemente contradictorios con los obtenidos en las entrevistas, los interpretamos como un indicativo de la poca consistencia de los esquemas de los alumnos en una cuestión tan compleja como es la naturaleza de la luz.

Esquemas de la propagación de la luz

En esta ocasión los esquemas de la propagación de la luz se han extraído prioritariamente de las respuestas a determinadas preguntas, que en este caso son las que aparecen en el Cuadro 5.5.

Item	Enunciado
16	- ¿Qué zona de la pantalla estará iluminada (ver Apéndice VI)?.
17	- ¿Desde qué ventanas, estando dentro, podemos ver la lámpara?, ¿Cuál de las ventanas es iluminada por la luz de la lámpara?, ¿Qué parte de la pantalla 2 está iluminada si las ventanas están abiertas?. Explicar la respuesta.(ver Apéndice VI)

Cuadro 5.5

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 5.5.; los esquemas de referencia se representan en la Figura 5.5 (página siguiente).

Esquema	0	1	1a	2	2a	3	4	4a	5	6	6a	7
Frecuencia	0	3	4	2	1	6	4	7	3	18	1	2
Porcentaje	0	5.88	7.84	3.92	1.96	11.76	7.84	13.73	5.88	35.29	1.96	3.92

Tabla 5.5

Los primeros modelos, a los que habíamos denominado *PL-1*, *PL-1a* y *PL-2* (utilizados por tres, cuatro y dos alumnos respectivamente) ya habían sido utilizados en la prueba inicial.

El esquema *PL-2a* (utilizado por un alumno) se centra en que el foco luminoso emite varios rayos y no uno sólo como se proponía en el modelo *PL-2*. Coincide con él en que se realiza en línea recta, lo que parece denotar un acercamiento a postura de índole corpuscular sobre la naturaleza de la luz.

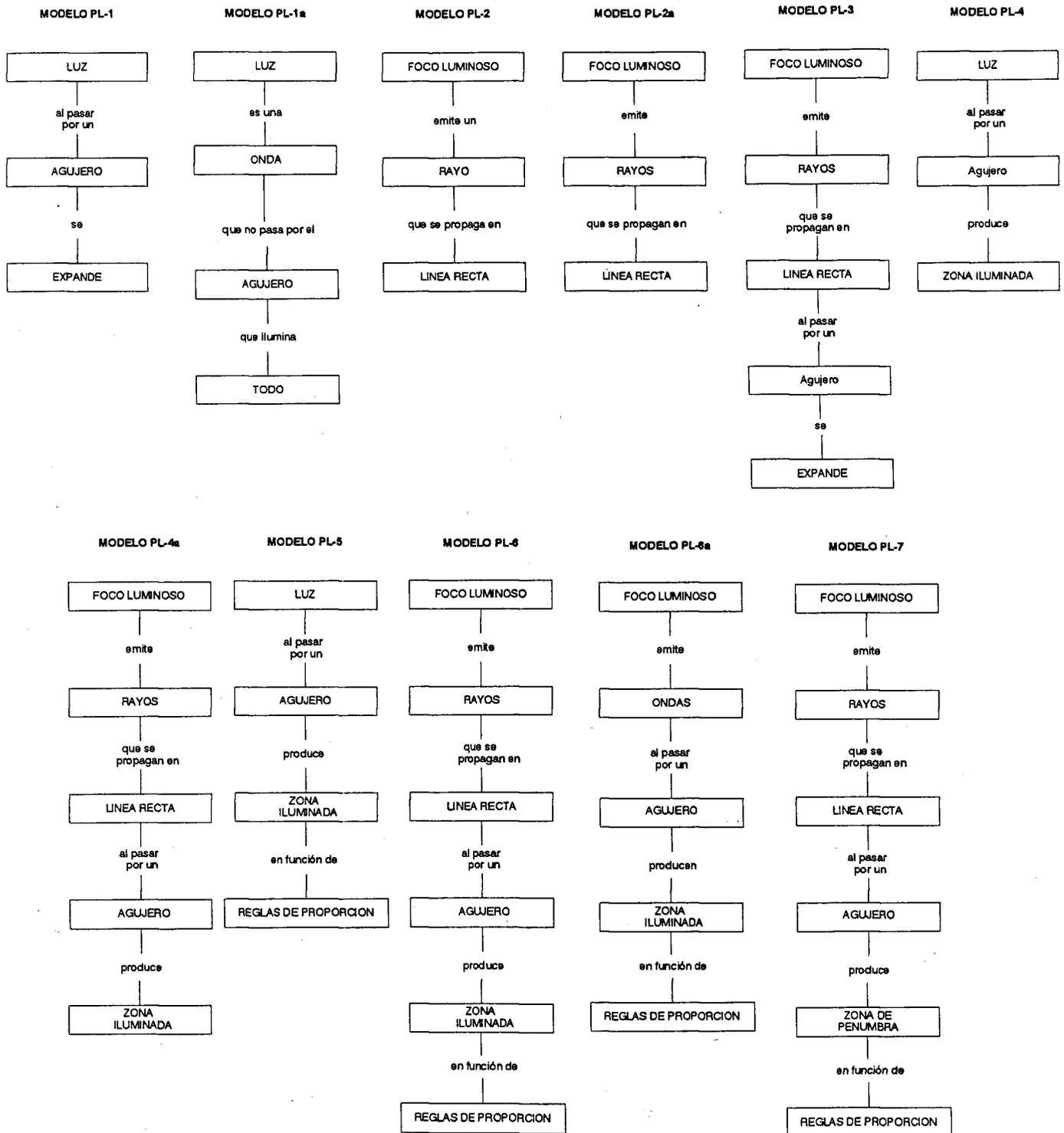


FIGURA 5.5

El modelo *PL-3* que fue utilizado por seis alumnos, manifiesta la propagación rectilínea de la luz pero, también considera que, al llegar al agujero se produce un fenómeno de difracción sea cual sea el diámetro del mismo.

Los esquemas *PL-4* y *PL-4a* (usados por cuatro y siete alumnos respectivamente) indican que son capaces de señalar la zona iluminada cuando unos rayos de luz atraviesan un agujero, diferenciando la situación de la difracción.

El modelo *PL-5*, utilizado por tres alumnos, 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 esquemas *PL-6* y *PL-6a*, utilizados por dieciocho y un alumno 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.

El último modelo, denominado *PL-7* (utilizado por dos alumnos), es el que se puede considerar más completo, ya que incluye la separación entre foco luminoso y luz, la propagación en línea recta y las relaciones cuantitativas que rigen dicha propagación; se diferencia del modelo *PL-6a* en que no hace referencia al carácter ondulatorio de la luz, a la vez que considera por primera vez la existencia de una posible zona de penumbra.

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

- aunque la mayoría de los modelos ya habían sido utilizados por los alumnos en la prueba inicial, son muchos más los que ahora hacen uso de los más completos.
- se observa que los que han aparecido de nueva creación diferencian la luz del foco luminoso, o éste del manantial puntual.
- la mayoría de los modelos se centran en los 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.
- se vuelve a apreciar en estos esquemas que la estructura sigue siendo bastante simple y sin las suficientes relaciones cruzadas entre los conceptos, que a nuestro modo de ver son las que indicarían una visión más completa de la propagación de la luz.

Esquemas de las sombras

En esta ocasión los esquemas de las sombras se han extraído prioritariamente de las respuestas a determinadas preguntas, que en este caso son las que aparecen en el Cuadro 5.6.

Item	Enunciado
14	- Se ve la sombra de un florero cuando está iluminada por una bombilla que alumbra muy poco. Luego se reemplaza la bombilla por otra que alumbra mucho. La sombra que se ve con la bombilla que alumbra muy poco es, con respecto a la bombilla que alumbra mucho: a) Mas grande, b) Del mismo valor, c) Más pequeña o d) No lo sé.
19	- Cuando el Sol está delante de tí, ¿dónde está tu sombra?. Explica detenidamente tu respuesta.
20	- Señala en el dibujo, la sombra del árbol que está en posición correcta (Apéndice VI).

Cuadro 5.6

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 5.6. Los esquemas de referencia se recogen en la Figura 5.6 (página siguiente)

Esquema	θ	$1b$	2	$2a$	3	$3a$	4	$5a$
Frecuencia	0	2	13	6	12	8	8	2
Porcentaje	0	3.92	25.49	11.76	23.53	15.69	15.69	3.92

Tabla 5.6

Los dos primeros modelos, denominados $S-1$ y $S-1a$, que habían sido utilizados en la prueba inicial, no fueron usados esta vez por ningún alumno. El más sencillo que se aplicó fue el que hemos denominado $S-1b$, utilizado por dos alumnos, que al igual que en el modelo $S-1$ considera que la sombra se produce al chocar la luz con un objeto, aunque esta vez no le atribuye a ésta la característica de ser una disminución de la luz.

Los modelos $S-2$, utilizado por trece alumnos, y el $S-2a$ por seis, reconocen dónde se producirá la sombra y dan una interpretación de la causa de su presencia. En el caso del $S-2$ creen 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 doce y ocho 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 $S-4$ (utilizado por ocho 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 cuerpo opaco.

Ningún alumno utilizó el $S-5$, aunque apareció un nuevo modelo que hemos denominado $S-5a$ que fue utilizado por dos; daba una visión más completa de las sombras, ya que no sólo asumía que se producía al chocar la luz con el objeto sino que, además, añadía que ésta dependía tanto de la posición de éste como de la de la luz.

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

- hay que advertir de la desaparición de los esquemas en los que se consideraba la sombra como un reflejo de la luz o una disminución de ésta, lo que entendemos que constituye un alejamiento de posturas poco científicas.
- se detecta, igual como ocurría en el caso de la propagación de la luz que la mayoría de los modelos ya habían sido detectados en la prueba inicial, aunque la distribución de estos es bastante diferente, observándose una tendencia mayoritaria a hacer uso de los más evolucionados.
- sigue sin aparecer mención alguna al término de penumbra, lo que parece estar unido a la falta de relación existente entre la propagación de la luz en línea recta y las sombras.
- como ya ocurrió en la prueba inicial, se hace alusión a los rayos en varios de ellos.
- a pesar de haber disminuido, todavía hay un número apreciable de alumnos que consideran que la sombra depende de la cantidad de luz que haya en la habitación o de la intensidad de la misma, apareciendo, incluso, un nuevo modelo en el que considera que la sombra depende no sólo de la posición del foco luminoso sino también de la del objeto.

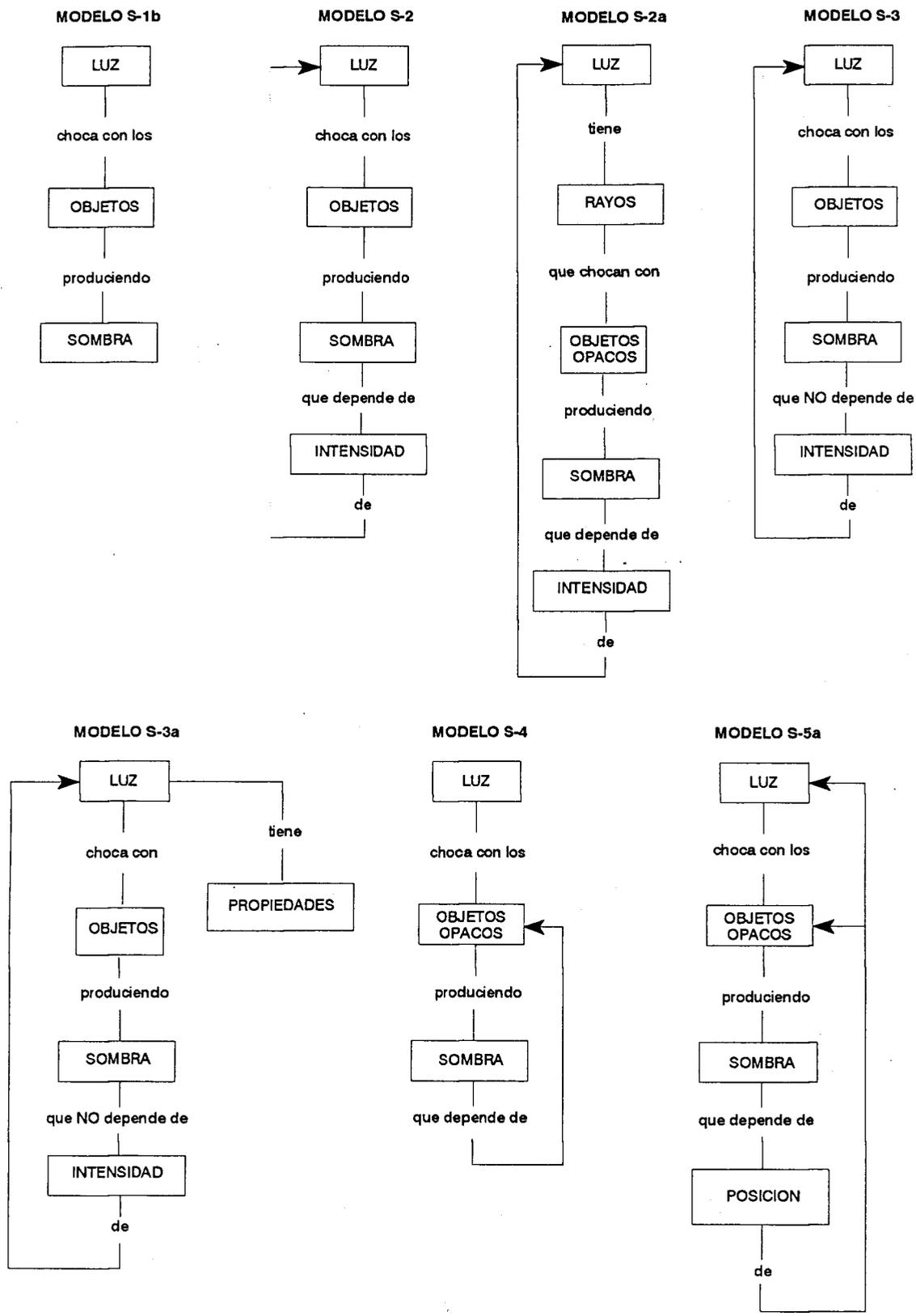


FIGURA 5.6

Esquemas de la reflexión de la luz

En esta ocasión los esquemas de la reflexión de la luz se han extraído prioritariamente de las respuestas a determinadas preguntas, que en este caso son las que aparecen en el Cuadro 5.7.

Item	Enunciado
1	- Explicación sobre la reflexión.
4a	- Observa la marcha de un rayo de luz a través de dos medios desconocidos. ¿Podrías dibujar cómo continua el rayo?. Explícalo.(ver apéndice VI)
11a	- Explica el por qué de esta afirmación: Los faros de los automóviles llevan detrás del foco luminoso un espejo parabólico.

Cuadro 5.7

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 5.7. Los esquemas de referencia se recogen en la Figura 5.7 (página siguiente)

Esquema	0	1	1a	2	3	4	5
Frecuencia	1	2	1	2	9	33	3
Porcentaje	1.96	3.92	1.96	3.92	17.65	64.71	5.88

Tabla 5.7

Los primeros modelos fueron esta vez muy poco utilizados por los alumnos, así el que habíamos denominado *RL-1* lo fue en dos ocasiones, el *RL-1a* fue utilizado en una y dos usaron el *RL-2*. Los dos primeros denotan un conocimiento de la reflexión de la luz poco estructurado. Así, en el primero de ellos, se reconoce que la luz rebota en determinados cuerpos, como en los espejos, pero tiene pocos matices más que pudieran resaltarse; mientras que en el *RL-1a*, en donde persiste la misma ambigüedad, se hace alusión a rayos luminosos, ya sean incidentes o reflejados, pero utilizando términos menos científicos que antes en sus razonamientos.

En cambio el modelo *RL-3* (utilizado por cuatro alumnos en la prueba inicial), fue usado ahora por nueve y el modelo *RL-4* (utilizado inicialmente por diez), lo fue en treinta y tres ocasiones, lo que supone que un porcentaje muy importante lo aplicó en sus respuestas. El primero 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, aunque no hace referencia concreta a ninguna de ellas. El segundo, añade a éste la propagación de la luz en línea recta de los rayos reflejados y especifica, además, que los ángulos incidente y el reflejado son iguales.

Apareció un nuevo modelo denominado *RL-5*, que fue usado por tres alumnos. Consistía en considerar que los rayos de luz que se propagan en línea recta, rebotan en los espejos produciendo rayos reflejados que también se propagan en línea recta y que, además, guardan con los incidentes una serie de relaciones que se pueden englobar en las dos primeras leyes de la reflexión.

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

- se aprecia que siguen circunscribiendo la reflexión únicamente a los espejos, ya que ninguno de los modelos se hace mención a superficies no especulares.
- mantienen la idea de que la propagación de la luz se produce siempre en línea recta, aunque ahora consideran que esa propagación no es aleatoria y que está regulada por leyes.

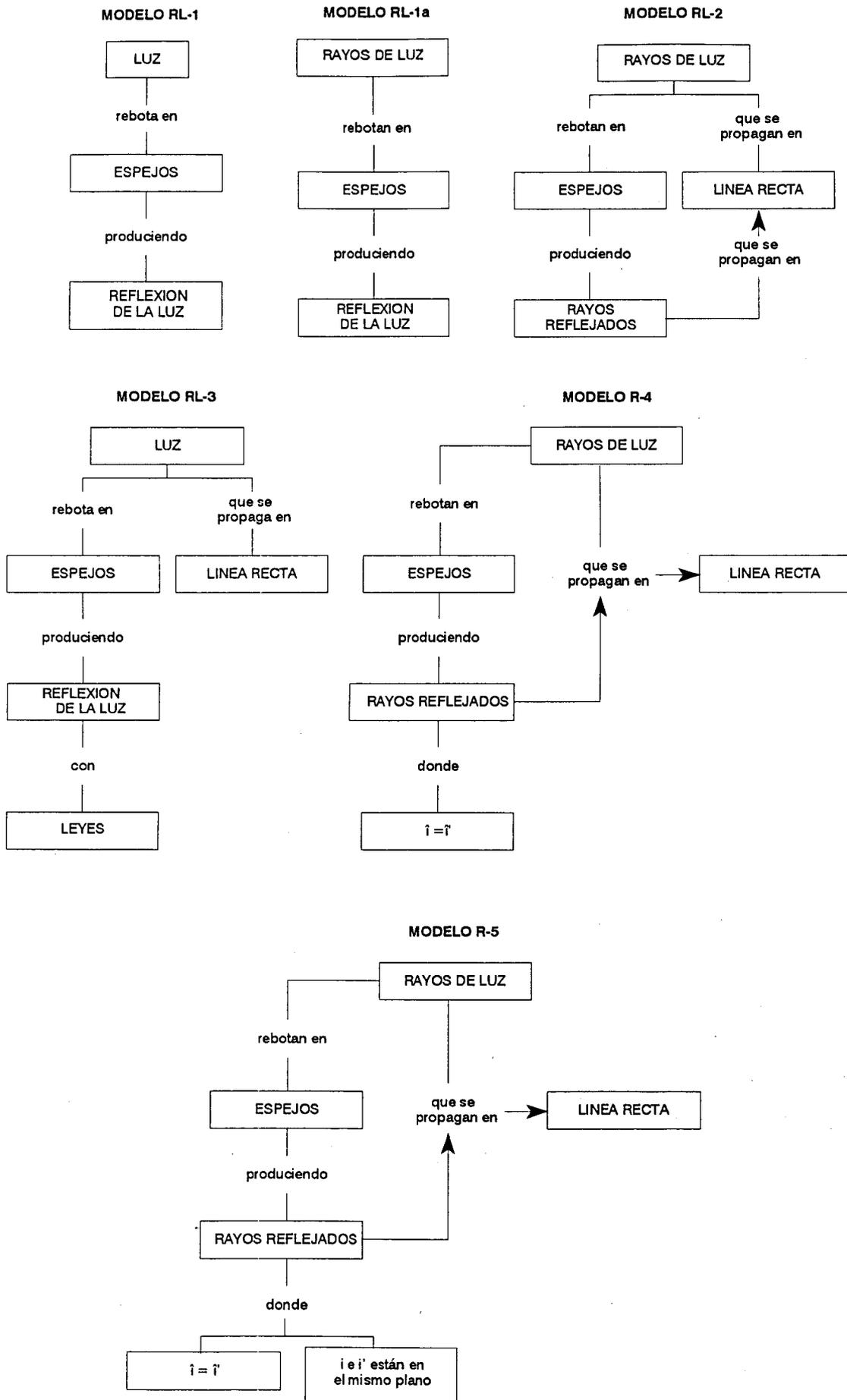


FIGURA 5.7

- la concepción predominante diferencia claramente entre rayo incidente y reflejado, y considera la igualdad entre ángulo incidente y reflejado. No obstante, sólo uno de los modelos incluye que ambos rayos han de estar en el mismo plano.

Esquemas de la refracción de la luz

En esta ocasión los esquemas de la reflexión de la luz se han extraído prioritariamente de las respuestas a determinadas preguntas, que en este caso son las que aparecen en el Cuadro 5.8

Item	Enunciado
4a	- Observa la marcha de un rayo de luz a través de dos medios desconocidos. ¿Podrías dibujar cómo continua el rayo?. Explícalo (ver Apéndice VI).
4b	- Observa la marcha de un rayo de luz a través de dos medios desconocidos. ¿Qué conclusiones puedes sacar sobre el medio 1 y el medio 2?.
6	- El índice de refracción del agua es 4/3 y el del vidrio 3/2. ¿En cuál de esas sustancias se propaga la luz a mayor velocidad?, ¿Cuál es mas refringente?.

Cuadro 5.8

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 5.8. Los esquemas de referencia se recogen en la Figura 5.8 (página siguiente)

Esquema	0	3	3a	4	4a	4b	5	6
Frecuencia	3	10	7	7	7	9	2	6
Porcentaje	5.88	19.61	13.73	13.73	1.73	17.65	3.92	11.76

Tabla 5.8

Los cuatro primeros modelos que habían aparecido en la prueba inicial no lo hicieron esta vez: ni el *FL-1*, ni el *FL-1a*, ni el *FL-1b*, ni el *FL-2*. El más elemental que utilizaron fue el que habíamos denominado *FL-3*, que lo fue en diez ocasiones.

Apareció un modelo nuevo que denominamos *FL-3a*, utilizado por siete alumnos y que consistía en una variación mejorada del modelo *FL-3*. Aunque consideraba como éste que los rayos de luz que se propagan en línea recta y que, al llegar a un cuerpo transparente, sufren una modificación; en esta ocasión, en vez de centrarse en la desviación de los rayos, entiende que lo que se ha producido sólo es un cambio de velocidad en la luz.

El *FL-4*, que era el más completo de los que aparecieron en la prueba inicial (aunque fuera usado sólo por un alumno), es utilizado ahora por siete de ellos. A partir del que hemos denominado *FL-4a*, utilizado por otros siete, empiezan los nuevos. En éste, la estructura se centraba en considerar que la refracción tiene lugar cuando los rayos de luz atraviesan un cuerpo transparente, produciendo no sólo un cambio en su velocidad sino también la desviación de los rayos y añadiendo que ésta se rige por unas leyes.

Otro modelo, que hemos considerado diferente pero de la misma categoría, es el llamado *FL-4b*. Fue utilizado por nueve alumnos y coincide con el anterior pero considera que no es la desviación de los rayos la que está regida por leyes, sino que es el cambio de velocidad el que está en función del índice de refracción.

El siguiente, denominado *FL-5* (utilizado por dos alumnos) se puede considerar bastante completo, tanto por el número y las magnitudes implicadas como por las relaciones que se establecen entre ellas. Su estructura se

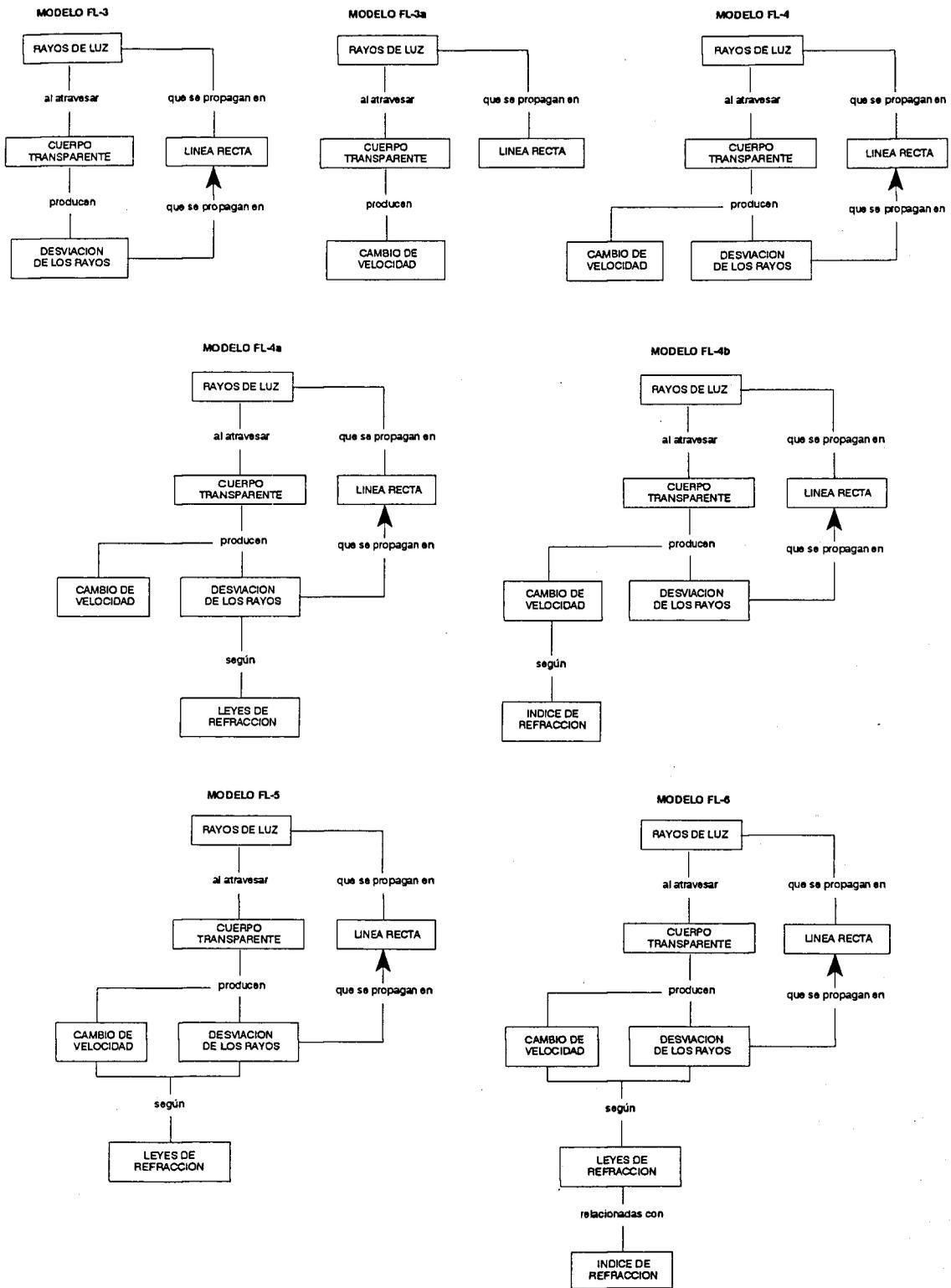


FIGURA 5.8

centraba en considerar que la refracción de la luz tiene lugar cuando los rayos que se propagan en línea recta, atraviesan un cuerpo transparente, lo que produce no sólo un cambio en su velocidad sino también la desviación de los rayos (que a su vez también se propagan en línea recta) añadiendo, además, que tanto la una como la otra están regidas por unas leyes de funcionamiento.

Por último aparece el modelo *FL-6* (utilizado por seis alumnos) que se puede considerar aún más completo que el anterior, ya que incluye todo lo dicho en el *FL-5* y añade que las leyes de funcionamiento que rigen el cambio de velocidad producido y la desviación de los rayos, están relacionadas con el índice de refracción.

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

- la aparición de nuevos modelos en los que se recoge la refracción de la luz como un cambio de velocidad, supone desde nuestro punto de vista un acercamiento a la verdadera concepción científica de un término tan abstracto y tan difícil como éste, que hace que muchas veces los alumnos lo consideren sesgadamente desde posiciones meramente intuitivas.
- parece abandonarse la utilización indistinta de los términos de reflexión y de refracción; así como la atribución al objeto como causa del fenómeno, dejando de considerar que, si el objeto no se ve en un medio, es porque ha cambiado de posición o de volumen.
- aunque se reconoce la existencia de leyes que rigen el fenómeno, sólo algunos llegan a definir las a nivel cualitativo o en términos de cambio de velocidad

Esquemas del mecanismo de visión

En esta ocasión los esquemas de la reflexión de la luz se han extraído prioritariamente de las respuestas a determinadas preguntas, que en este caso son las que aparecen en el Cuadro 5.9.

Item	Enunciado
9	- Luisa y su profesor están discutiendo sobre la visión. Profesor: Explica cómo ves el libro. Luisa: Señales que van a través de los nervios, entre los ojos y el cerebro. Profesor: Sí, esto sucede entre los ojos y el cerebro. Pero hay alguna distancia entre el libro y los ojos. ¿Qué ocurre entre ellos?, ¿cuál sería tu respuesta?. Dibuja y explica.(ver Apéndice VI).
11a	- Explica el por qué de esta afirmación: Los faros de los automóviles llevan detrás del foco luminoso un espejo parabólico.
17	- ¿Desde qué ventanas, estando dentro, podemos ver la lámpara?, ¿Cuál de las ventanas es iluminada por la luz de la lámpara?, ¿Qué parte de la pantalla 2 está iluminada si las ventanas están abiertas?. Explicar la respuesta.(Ver Apéndice VI).

Cuadro 5.9

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 5.9. Los esquemas de referencia se representan en la Figura 5.9 (página siguiente)

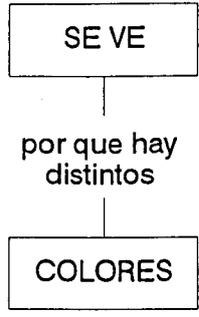
Esquema	0	1	1a	3	3/4	4	4a	4a/5	5
Frecuencia	5	2	1	5	3	6	12	1	16
Porcentaje	9.80	3.92	1.96	9.80	5.88	1.76	23.53	1.96	31.37

Tabla 5.9

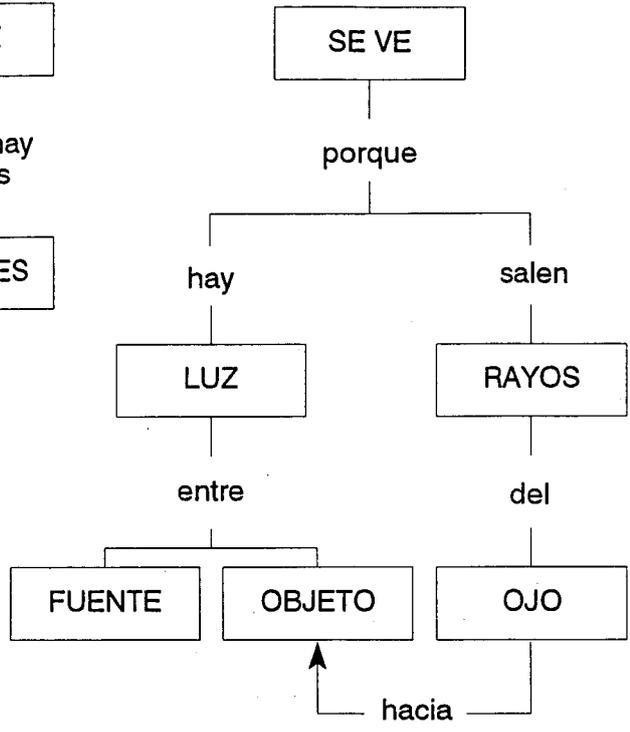
MODELO V-1



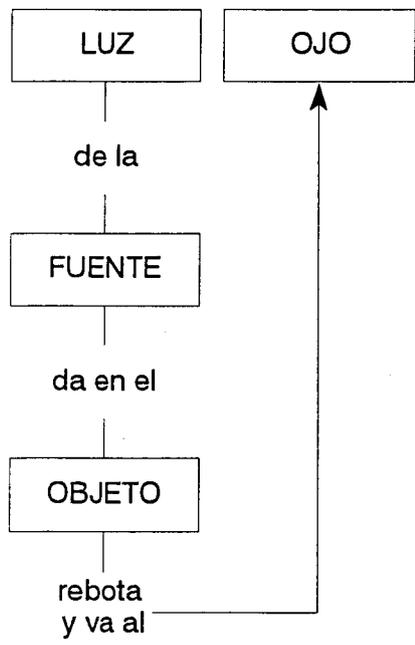
MODELO V-1a



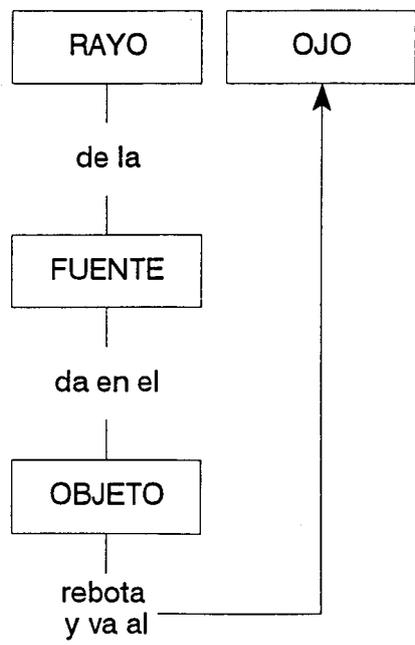
MODELO V-3



MODELO V-4



MODELO V-4a



MODELO V-5

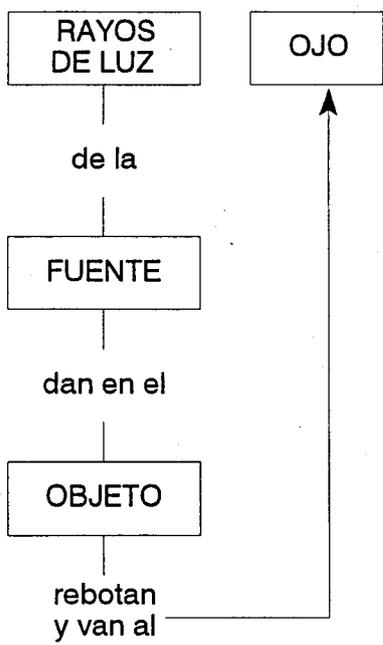


FIGURA 5.9

Dos alumnos utilizaron en sus respuestas el modelo *V-1*, uno el *V-1a* y ninguno el *V-2*. Estos obviamente eran los más elementales.

Respecto a los modelos más utilizados en la prueba inicial, que fueron el *V-3* y el *V-3/4*, se usaron esta vez, en cinco ocasiones el primero y en tres el segundo. El *V-3* se basaba fundamentalmente en que los ojos emiten unos rayos luminosos que, al chocar con un objeto iluminado, permiten que podamos verlo.

El esquema *V-4*, que lo fue en dos ocasiones, lo es ahora en seis. En éste se aprecia una concepción correcta del mecanismo de visión: la luz choca con 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.

Aparecen aquí dos nuevos modelos, que hemos denominado *V-4a* (utilizado por doce alumnos) y *V-5* (utilizado por dieciséis alumnos), en los que es posible apreciar una concepción un tanto diferente y mucho más correcta que las que hasta ahora se habían usado; sus estructuras, que son bastante parecidas, están centradas en que el rayo de la fuente da en el objeto y después de rebotar va al ojo; aunque en el segundo caso se cita explícitamente que los rayos que salen de la fuente son de luz, en el primero no es así.

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

- la mayoría de los alumnos de la muestra han abandonado los modelos que consistían en creer que los rayos de luz salen de nuestros ojos o que la visión se puede producir simplemente por el hecho de que haya luz.

- se aprecia que ha aumentado espectacularmente el número de alumnos que hacen uso ahora de los modelos más coherentes y científicos, siendo mayoritaria la concepción de la visión que consiste en que el rayo de la fuente da en el objeto y después de rebotar va al ojo.

C.5.2.3 Estudio cuantitativo de los resultados de la prueba final de contenidos conceptuales y procedimentales

Para tener una visión más global de las respuestas obtenidas en la prueba final sobre los contenidos conceptuales y procedimentales del módulo de Ondas, se cuantificaron (ver Anexo 7) y se les aplicaron una serie de estadísticos básicos, igual que hicimos en la prueba inicial, algunos de cuyos resultados se recogen en la Tabla 5.10.

Item	N°	Máx	Mín	Media	Des tip	Frecuencias					Porcentajes (%)				
						0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
2	51	4	0	1.39	1.71	28	2	6	3	12	55	4	12	6	25
3	51	4	0	2.33	1.61	12	7	0	16	16	26	14	0	31	31
4a	51	4	0	2.04	1.41	10	10	8	14	9	20	20	16	27	18
4b	51	4	0	1.26	1.34	23	5	14	5	4	45	10	27	10	8
4c	51	4	0	1.04	1.30	26	8	10	3	4	51	16	20	6	8
5	51	4	0	1.57	1.72	25	3	4	7	12	49	6	8	14	24
6	51	4	0	1.31	1.48	23	8	8	5	7	45	16	16	10	14
7a	51	4	0	1.18	1.28	23	6	16	2	4	45	12	31	4	8
7c	51	4	0	1.37	1.25	14	17	13	1	6	27	33	25	2	12
8	51	4	0	1.53	1.32	13	16	10	6	6	25	31	20	12	12
9	51	4	0	2.49	1.79	15	2	4	3	17	29	4	8	6	53
10	51	4	0	1.33	1.46	23	7	8	7	6	45	14	16	14	12
11a	51	4	0	1.59	1.08	8	18	14	9	2	16	35	27	18	4
11b	51	4	0	1.80	1.26	11	9	14	13	4	21	18	27	25	8
11c	51	4	0	0.43	1.04	42	2	3	2	2	82	4	6	4	4
11d	51	4	0	2.16	1.24	6	7	21	7	10	12	14	41	14	20
11e	51	4	0	1.14	1.30	24	9	7	9	2	47	18	14	18	4
12a	51	4	0	1.39	1.28	15	18	4	11	3	29	35	8	22	6
12c	51	4	0	0.59	1.20	38	5	3	1	4	75	10	6	2	8
12d	51	3	0	1.35	1.65	27	4	5	5	10	53	8	10	10	20
13	51	4	0	0.96	1.17	22	18	6	1	4	43	35	12	2	8
14	51	4	0	1.27	1.30	19	12	12	3	5	37	23	23	6	10
15	51	4	0	1.08	1.07	18	17	13	0	3	35	33	25	0	6
16	51	4	0	0.92	1.16	28	6	11	5	1	55	12	22	10	2
17	51	4	0	1.57	1.51	18	11	5	9	8	35	22	10	18	16
18	51	4	0	1.33	1.49	20	15	4	3	9	39	29	8	6	18
19	51	4	0	2.55	1.27	4	7	12	13	15	8	14	24	25	29
20	51	4	0	3.53	1.30	6	0	0	0	45	12	0	0	0	88

Tabla 5.10

En la primera columna aparece el ítem; en la segunda el número de casos de los que disponíamos la información completa (inicial y final); la tercera y la cuarta recogen los valores máximos y mínimos obtenidos (recordamos que la cuantificación era de cero a cuatro); la quinta se refiere a la media; la sexta a la desviación típica; posteriormente se indican las frecuencias de cada uno de los niveles establecidos; y, por último, los porcentajes correspondientes.

Se observa que sólo cuatro de los veintiocho ítems tienen unos resultados con una media inferior a 1 (en la prueba inicial eran once de los diecinueve ítems). Estos se refieren a la refracción del sonido, a la relación entre la velocidad de propagación y la longitud de onda, características del sonido y propagación de la luz.

Se aprecia asimismo que hay seis de ellos que la tienen superior a 2 (en la prueba inicial eran sólo dos de los diecinueve ítems). Estos hacen referencia en dos casos a la propagación del sonido, en otros dos al mecanismo de formación de las sombras, en uno a la propagación de la luz y en otro al mecanismo de visión.

También se aprecia que en cuatro ítems -en la prueba inicial eran la mitad- tiene un número de ceros superior al 50%. No obstante, el número de ítems con cuatros superiores al 50% siguen siendo sólo dos. En líneas generales se observa una evolución en los niveles intermedios.

Puesto que ya han sido descritos en los apartados anteriores los resultados obtenidos, en el comentario ítem a ítem nos centraremos en las consecuencias didácticas que se derivan de nuestra propuesta.

Respecto al *ítem 2* los resultados obtenidos fueron bastante dispares. Teniendo en cuenta el tipo de pregunta (diseño de una experiencia), podemos considerar que este tipo de tareas no es algo que esté al alcance de todos los alumnos sobre todo si no se le ha dedicado tiempo en otros niveles educativos. La solución no es posible a corto plazo; podría encontrarse en plantearlos secuenciadamente en el aula, cada vez con mayor complejidad e incidiendo en las conexiones existentes entre estos contenidos y los conceptuales. Lógicamente esto conllevaría una dedicación mayor y a más largo plazo, y no sólo en una asignatura.

En el *ítem 3* los resultados también son dispares, aunque mucho más satisfactorios. A la vista de los valores podemos considerar que, aunque los alumnos parecen entender la forma de resolver situaciones de este tipo, podría ser interesante profundizar más en las tareas en las que abundaran los cálculos numéricos, que entendemos que son los que probablemente han influido negativamente en el rendimiento. Una posibilidad sería la de insistir más en el significado de los datos obtenidos (números y unidades) para de esa forma conectar lo cualitativo con lo cuantitativo, que tanto trabajo les cuesta.

El *ítem 4a* ha obtenido unos resultados bastante homogéneos, que podemos considerar positivos ya que, al igual que el anterior, es uno de los que obtuvieron mejor rendimiento. En él estaban implicados contenidos, como la representación mediante el dibujo -no exclusivos de las Ciencias Experimentales- que requería para su realización la transferencia de conocimientos a una situación icónica; esto siempre implica cierta dificultad a los alumnos de estas edades. Consideramos que, a pesar de todo, es sumamente interesante relacionar dibujos, ángulos y conceptos físicos para dar una mayor amplitud al aprendizaje, a la vez que vamos conectando asignaturas que, de otra manera, parecerían sin conexión y contribuirían a desvirtuar el trabajo académico.

La *pregunta 4b* en la que estaba implicado un contenido procedimental (elaboración de conclusiones coherentes con el proceso), no ha obtenido unos resultados brillantes. La supeditación a los resultados del ítem 4a lleva a "empeorar" el rendimiento. Convendría por ello que se hiciera mayor hincapié en tareas de este tipo en las que se realiza un proceso completo en el que se toman datos, se representan, se analizan, se interpretan,... y se sacan conclusiones, para que los estudiantes lleguen a entender la gran e ineludible relación que existe entre ellos. En este caso concreto, creemos interesante centrarse en el análisis de las conclusiones para establecer su posible viabilidad. Como ya dijimos antes, esto no es tarea de una sola asignatura, ni de un curso académico, sino de todos los niveles educativos.

El *ítem 4c* ha obtenido también unos resultados poco satisfactorios. Considerando que es una extensión de los anteriores, el rendimiento nos parece lógico, ya que aquí lo que realmente se está pidiendo es una transferencia a la vida real de "algo" que en el rendimiento de la pregunta anterior se aprecia que no dominan. De todas maneras, nos parece que, a pesar del poco éxito obtenido, estas actividades son siempre sumamente interesantes, porque ayudan a que el alumno perciba una utilidad a lo que le enseñamos.

En el *ítem 5* se han obtenido unos resultados poco satisfactorios, aunque mejores que en la anterior. Deducimos de ello, la necesidad de enfrentar a los estudiantes a situaciones que, como en ésta, han de relacionar sus conocimientos matemáticos con los físicos, aplicándolos a una situación real. La dependencia de la Física con las matemáticas es inevitable y conveniente y creemos que la realización de ejercicios numéricos es un contenido procedimental esencial en estos niveles, sea cual sea su "popularidad" entre los estudiantes.

Los resultados del *ítem 6* son de la misma índole. Teniendo en cuenta que se trata de una pregunta cuya resolución es matemáticamente sencilla, atribuimos el bajo rendimiento a que se trata de un concepto complejo como es la refracción, que resulta de difícil comprensión a estas edades, sobre todo a la hora de establecer relación entre la velocidad y el medio. Convendría tener presente esto a la hora de plantear en el aula actividades relacionadas con este fenómeno.

En la *pregunta 7a*, teniendo en cuenta que se trataba realmente de dos apartados no demasiado sencillos, sobre todo el segundo, el rendimiento fue aceptable aunque dispar. Atribuimos los resultados fundamentalmente a que los alumnos desconocían el concepto de energía desde el punto de vista científico. Se pone de manifiesto, a pesar de todo, la necesidad de relacionar los contenidos de diversos temas, a veces separados de forma artificial, para evitar el establecimiento de compartimentos estancos que posteriormente son más difíciles de globalizar.

Aún a pesar del número de alumnos que dan una respuesta que se puede considerar errónea, tenemos en estimar que los resultados de la *pregunta 7c* no son del todo insatisfactorios a la vista de su dificultad. En ella se trata de llegar a establecer si, en esta situación concreta, la onda producida es transversal o longitudinal; esto supone no sólo el manejo de conceptos abstractos sino también la transferencia de los mismos a una situación imaginada. En estos casos es conveniente realizar tareas de forma recurrente y diversificada que ayuden a visualizar los fenómenos y palién las dificultades que les suponen identificar y reconocer conceptos tan complejos.

Los resultados del *ítem 8*, se pueden entender como parcialmente insatisfactorios. La respuesta correcta pasa por relacionar la audición con el medio en el que se propaga el sonido, lo que parece que no hemos conseguido, al menos mayoritariamente. Sería por tanto conveniente que se fomente, en mayor medida en la que nosotros lo hemos hecho, la realización de actividades que contribuyan a evitar que consideren independiente estos aspectos, más si cabe si incide en el conocimiento de su propio cuerpo.

En la *pregunta 9*, otra de las seis que tiene una media superior a dos, los resultados son bastante satisfactorios. Teniendo en cuenta que debajo de este ítem se encuentra el concepto de visión, podemos considerar que las actividades que hemos llevado a cabo, tanto en número como en intención, son suficientes para lograrlo en la mayoría de los estudiantes. De todas maneras, nos parece significativo que un porcentaje importante de alumnos (más del 29%) haya respondido de forma completamente incorrecta, lo que nos lleva a suponer que nuestra propuesta es mejorable. Para ello entendemos que, en algún caso, las tareas habrían de dar un pequeño giro y hacerse un poco más asequibles a los niveles más bajos del grupo.

En el *ítem 10* las respuestas parecen estar bastante repartidas. En función de las características de lo que se demandaba, parece que se pone de manifiesto el distinto nivel de justificación que han utilizado los alumnos en sus contestaciones ya que, como hemos indicado anteriormente, la mayoría de ellos era capaz de identificar lo que es una onda. A pesar de todo, teniendo en cuenta que se trata de la extrapolación a una situación próxima, nos anima a trabajar todavía más en esa línea para mejorar el rendimiento.

La *pregunta 11a* tiene unos resultados agrupados en los valores intermedios. Consideramos, por tanto, que los contenidos implicados en esta pregunta (en torno a la reflexión y a la orientación de la luz) han sido asimilados (al menos parcialmente). Teniendo en cuenta la que el modelo más utilizado por los alumnos (a estas alturas de curso) excluía la primera ley de la reflexión, convendría profundizar en dicho tópico en posteriores niveles, para llegar a acercarlos al mismo. A la vez interesaría que no justificaran sus propuestas respecto a una sola variable, que es lo que hemos podido apreciar en estas respuestas.

Los resultados de este *ítem 11b* son parecidos a los del anterior, ya que casi un 71% de los alumnos obtiene unos valores intermedios. En función de los conceptos implicados (reflexión, reverberación, audición, etc.) y de las respuestas de los estudiantes, parece detectarse en la mayoría de ellas la diferenciación entre eco y reverberación; quizás, la mayor dificultad de esta pregunta ha consistido en el manejo simultáneo (como ha ocurrido en ocasiones anteriores) de varias variables. Habría que propiciar situaciones en las que hubiera que hacer un análisis global y no puntual, y en las que la clave fuera la propia interrelación y no los contenidos considerados individualmente. Creemos

que está condicionada por las enseñanzas recibidas a lo largo de muchos años, que en la mayoría de las ocasiones no propician su logro. A pesar de todo consideramos que las repercusiones son tan importantes para la concepción del verdadero espíritu de Ciencia que, aunque sea a largo plazo, es un objetivo ineludible.

En la *pregunta 11c* las respuestas fueron decepcionantes y se obtuvieron los peores resultados de toda la prueba. Atribuimos estos valores a las dificultades que tiene el propio concepto de refracción (ya señaladas en el ítem 6) y consideramos que, en estas circunstancias, este fenómeno debe trabajarse a nivel operativo, sin adentrarnos demasiado en la problemática matemático-conceptual del mismo.

En el *ítem 11d* en cambio, en que la media de los resultados es una de las seis que la tienen superior a dos, el rendimiento ha sido muy positivo. Esto concuerda con los modelos interpretativos más utilizados por los alumnos en estos momentos del curso, en los que en todos aparece explícitamente la no propagación del sonido en ausencia de medio. Entendemos que hemos contribuido a que dispongan de herramientas conceptuales más consistentes y acercarlos a una interpretación más científica de los mecanismos de propagación de las ondas, sonido en este caso.

Por contra, en la *pregunta 11e*, que trataba del mismo tópico que el anterior, los resultados obtenidos no son tan brillantes. A la vista de sus características, en la que pretendíamos relacionar un concepto profusamente trabajado (y creemos que alcanzado) como es la propagación del sonido, con otro que no lo había sido como es la temperatura. Las conclusiones esta vez parecen bastante evidentes: los alumnos no son capaces de incluir en su modelo un concepto, no precisamente sencillo, como es la temperatura, y por tanteo no llegan a establecer la influencia entre ésta y el movimiento de las partículas en el medio. Quizás los errores arranquen de la no conceptualización de qué representa esta magnitud física.

En los resultados del *ítem 12a* destaca la gran dispersión de los valores obtenidos. En la pregunta, constituida realmente por dos partes, se pueden diferenciar asimismo dos respuestas (una referida al sonido y otra a la luz) cuyos rendimientos no fueron iguales, pues en el caso de las ondas sonoras la consistencia de las respuestas era mayor. Entendemos, además, que estos valores son bastante lógicos ya que justificar científicamente, en estos niveles, si la luz es una onda o no, tiene unas complicaciones, propias de las ondas electromagnéticas, mucho más elevadas.

Los resultados de la *pregunta 12c*, una de las cuatro que obtuvo una media inferior a uno, demuestran que todavía ha quedado mucho trabajo por hacer en relación al concepto de longitud de onda. Atribuimos el bajo rendimiento a la abstracción del propio concepto, del que estos estudiantes parecen tener una concepción meramente operativa, lo cual no dejar de ser paradójico, pues recordemos que se trata de alumnos pertenecientes a las ramas profesionales de Electricidad y Electrónica. Hay que añadir que hemos observado que, respecto a los contenidos procedimentales (establecimiento de relaciones entre variables), conlleva normalmente valores más bajos de los que cabría esperar pero en ello existe una influencia determinante del ámbito conceptual.

Teniendo en cuenta que las características del *ítem 12d* son similares al anterior, destaca el mayor porcentaje de resultados correctos (casi un 30%). Abundamos por tanto en la tesis que defendíamos antes, ya que en este caso el concepto implicado (la frecuencia) está mejor estructurado en sus esquemas conceptuales que lo estaba la longitud de onda y, por tanto, no supone una dificultad añadida tan grande en el establecimiento de la relación que se pedía.

En la *pregunta 13* los resultados son de los más bajos de la prueba (es una de las cuatro cuya media es inferior a uno). La contestación adecuada a este ítem había de incluir una reflexión general, en la que estarían incluidos intensidad, tono y timbre. Teniendo en cuenta que los alumnos han centrado sus contestaciones en la frecuencia, creemos que entender que han buscado sólo una variable que intuitivamente han asociado al tono. Convendría por tanto, plantear mayor número de situaciones en las que estuvieran implicados estos conceptos, sobre todo la longitud de onda, incidiendo en aquellas actividades que las contemplaran de forma globalizada.

El *ítem 14* tiene unos resultados poco satisfactorios. A pesar de que en las respuestas de los estudiantes se pudo apreciar que la mayoría tenían un concepto de sombra independiente de la potencia del foco luminoso, las deficiencias de las contestaciones parecen encontrarse en las justificaciones de las mismas, que podemos describir como poco consistentes en general. Lógicamente, éstas necesitaban de un cuerpo de conocimientos y de una fluidez de vocabulario que evidentemente no poseen para este área de la Física, entre otras razones porque es la primera vez que han estudiado óptica a lo largo de su dilatada estancia en el mundo educativo. Convendría por tanto, profundizar en este campo a lo largo de cursos superiores.

Los resultados de la *pregunta 15*, a pesar de tener una media superior a uno, no son brillantes. Nos

encontramos en esta ocasión (como ocurría en el ítem anterior) con que las respuestas de los estudiantes son en su mayoría correctas en cuanto a que casi todos piensan que las paredes más iluminadas serían las de la habitación pequeña, aunque no son capaces de justificarlas adecuadamente por las carencias aducidas anteriormente. La superación de los problemas creados por la falta de justificaciones en algunos casos, podría estar en concederle aún mayor importancia de la que nosotros le hemos dado a las argumentaciones de los alumnos en las diversas actividades que realicen en clase.

Los resultados del *ítem 16* indican que es uno de los cuatro que obtuvieron una media inferior a uno. Por tanto y teniendo en cuenta las respuestas de la prueba, podemos afirmar que se aglutinan en este ítem una serie de factores que favorecen el alejamiento de mejores resultados. La solución estribaría en potenciar situaciones de aprendizaje que pudieran contribuir a desterrar conceptos erróneos, como la consideración de la luz como foco puntual en todas las situaciones, o que ayudaran a diferenciar dos conceptos solapados como los de sombra y penumbra. Estaría aderezado todo ello del uso continuo de un vocabulario más científico.

Los resultados de la *pregunta 17* nos indican unos resultados dispares. Teniendo en cuenta sus características (similar a la anterior), consideramos que la mejora de los resultados estriba en que, al tratarse en esta ocasión de un foco puntual, la distorsión producida en las respuestas del ítem 16 desaparece. Todo ello ha de llevarnos a ser muy cautos a la hora de extraer conclusiones de las respuestas de una sola pregunta, pues consideramos que para que éstas sean fiables, es necesario poner al alumno en diferentes situaciones, en las que a veces influyen las variables más insospechadas.

En el *ítem 18* los resultados son poco satisfactorios. Lo atribuimos al poco tiempo que pudimos dedicarle a un concepto tan complejo como es el color, ya que al estar situado al final del módulo no pudimos desarrollarlo en toda su extensión. Lógicamente esto se ha de reflejar en sus contestaciones, predominando las carencias y las concepciones que previamente poseían respecto a este tópico.

Los valores obtenidos en las dos últimas preguntas (*ítems 19 y 20*), en las que se hace referencia a la formación de la sombra, son los dos más altos de toda la prueba; sobre todo el veinte, cuya media era superior a 3.5. Hay que considerar que en esta ocasión partíamos de una situación inicial favorable y que la pregunta no presenta grandes dificultades. Aún así, destaca en el ítem 19 que haya más del 21% de los alumnos que contestan de forma incorrecta, prácticamente todos por la poca consistencia de la explicación que daban.

Como comentario final, nos gustaría resaltar que a pesar de que a través de los análisis individuales de los ítems no se puede establecer que los resultados sean especialmente brillantes, hemos de indicar que hay diferencias con los resultados de la prueba inicial, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo, respecto a la distribución de las respuestas. Así, observamos, que la diversificación de las contestaciones es mucho mayor en este caso, ya que en la práctica totalidad de los ítems (independientemente de sus porcentajes) aparecen contestaciones en todos los niveles, es decir que hay respuestas de los alumnos encuadradas en los niveles 0, 1, 2, 3 y 4.

Por otro lado, hemos utilizado criterios rígidos en la cuantificación que huyen de percepciones eufóricas que proyectan la idea de que “ya no es posible aprender más sobre el tema”. Nuestro referente no han sido, pues, los contenidos mínimos alcanzables (incluso, a partir de los desarrollados en nuestra propuesta) sino respuestas correctas y completas desde una perspectiva más científica. En términos numéricos, podríamos decir que el intervalo “real” en la mayoría de las puntuaciones ha ido de 0 a 3, dejando el 4 sólo para contestaciones muy localizadas. Esto se tendrá en cuenta en el análisis de dificultad de los ítems.

También es importante resaltar que partíamos de un nivel de conocimientos por parte de los alumnos sumamente bajo, como se puso de manifiesto en el análisis de la prueba inicial. Por tanto, a pesar de estar satisfechos de los logros obtenidos, consideramos que los resultados no son espectaculares y que todavía hay muchos alumnos que podemos considerar alejados de las posiciones científicas.

C.5.2.4. Conclusiones de la Subhipótesis Uno (SH3.1)

Después de haber analizado los resultados obtenidos en la prueba final de contenidos conceptuales y procedimentales sobre las Ondas, el Sonido y la Luz, aceptamos como verdadera la Subhipótesis Uno (SH3.1) que decía:

Los conocimientos de los alumnos, respecto a los contenidos conceptuales y procedimentales de las Ondas, el Sonido y la Luz, después de la aplicación de la metodología ensayada, son más estructurados y han mejorado manifiestamente desde el punto de vista científico.

C.5.3. RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA SH.3.2: PRUEBA FINAL DE CONTENIDOS ACTITUDINALES

La descripción de los resultados de la prueba final de contenidos actitudinales la hemos centrado en los resultados obtenidos en Junio; es decir después de la impartición del módulo de Ondas. Aunque disponemos de los correspondientes a Marzo (después del período de acomodación de los alumnos a la metodología, pero antes de la impartición de nuestra propuesta), sólo los utilizaremos en los contrastes de la Hipótesis Principal Cuatro a la que nos referiremos en el siguiente Capítulo.

Para determinar los datos necesarios para llevar a cabo la parte del estudio cuantitativo de los resultados hemos utilizado los instrumentos descritos en el apartado 2.4.1.3. Utilizando el paquete estadístico SYSTAT, hemos determinado algunos estadísticos básicos (media, casos, desviación típica, frecuencia,...), que nos han de servir para compararlos con los datos de los resultados de las pruebas iniciales de contenidos actitudinales.

C.5.3.1 Descripción y estudio cuantitativo de los resultados de la prueba final de contenidos actitudinales.

Para analizar los resultados obtenidos en la prueba que sobre contenidos actitudinales se les pasó a los alumnos en Junio, se calcularon los mismos estadísticos básicos que en Octubre y Marzo, utilizando el paquete estadístico SYSTAT. La Tabla 5.11 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	Nº 0	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4
1	44	3.02	0.98	+	1	1	11	14	17
2	44	0.45	0.79	-	30	10	2	2	
3	44	1.50	1.20	-	9	9	21	5	
4	44	1.52	1.39	-	15	6	14	3	6
5	44	1.07	1.15	-	19	9	12	2	2
6	44	2.34	1.20	+	5	3	16	12	8
7	44	2.16	1.45	+	9	5	10	10	10
8	44	0.93	1.17	-	23	7	10	2	2
9	44	3.16	0.91	+		2	9	13	20
10	44	2.39	1.47	+	7	6	8	9	14
11	44	3.52	0.66	+			4	13	27
12	44	2.50	1.11	+	3	4	13	16	8
13	44	3.20	0.88	+		2	7	15	20
14	44	2.68	1.16	+	1	9	5	17	12
15	44	2.32	1.22	+	3	8	15	8	10
16	44	2.03	1.16		5	8	18	7	6
17	44	2.43	1.13	+	2	7	14	12	9
18	44	2.89	1.15	+	3	1	10	14	16

Tabla 5.11 (continúa)

19	43	1.33	1.32	-	24	9	7	1	2
20	44	1.68	1.43	-	14	6	9	10	5
21	43	0.79	1.10	-	24	9	7	1	2
22	44	1.50	1.55	-	18	6	8	4	8
23	44	1.84	1.29		10	5	16	8	5
24	44	2.45	1.21	+	4	1	23	3	13
25	44	0.32	0.77	-	36	4	2	2	
26	44	1.75	1.10	-	8	5	25	2	4
27	44	1.34	1.46	-	18	10	5	5	6
28	44	2.04	1.18		4	10	17	6	7
29	44	1.36	1.46	-	19	7	6	7	5
30	44	0.64	1.06	-	29	7	4	3	1
31	44	2.50	1.04	+	1	7	13	15	8
32	44	1.54	1.47	-	16	6	11	4	7

Tabla 5.11 (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).

Se observa una mayor radicalidad en los posicionamientos frente a las afirmaciones. Así, respecto a las que están más de acuerdo (media superior a tres) habría que señalar los ítems 1, 9, 11 y 18. En cuanto a los más en desacuerdo (media inferior a uno) estarían los ítems 2, 8, 21, 25 y 30. Se mantienen algunas situaciones de la prueba inicial pero se amplía con nuevas declaraciones.

Es difícil hacer una valoración ítem a ítem que no sea reiterativa. En la misma línea de la prueba inicial, comentaremos brevemente las opciones más claramente definidas. En este sentido, hemos mantenido el criterio de considerar una opinión positiva en el grupo cuando su media es superior a 2.5 y negativa cuando ésta es inferior a 1.5; los demás valores no parecen estar tan definidas entre los alumnos.

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. Mantendremos esta división en el análisis realizado.

a) Parte correspondiente a las actitudes hacia la Ciencia

Siguen considerando la Ciencia no sólo como algo útil e interesante sino como el mejor método que podemos usar para abordar los problemas de la sociedad y del medio ambiente; lo que a su vez les lleva a establecer como imprescindible que la sociedad deba aceptarla y alentarla si quiere mejorar sus condiciones de vida (*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*).

Mantienen una opinión favorable sobre la Ciencia en cuanto a su relación con la sociedad, ya que afirman que ofrece mejores soluciones sociales, por ejemplo, que la Religión, lo que seguramente está relacionado con la importancia que le conceden a la Ciencia en la evolución que los seres humanos han sufrido sobre el concepto del

Universo (*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-).*

Continúan considerando, de manera rotunda, que la Ciencia debería ser algo cercano y accesible a todas las personas, ya que no se debería restringir el estudio de la Ciencia a unos pocos elegidos, lo que nos induce a pensar que la consideran como una necesidad para los individuos (*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).*

Han modificado levemente su creencia inicial sobre el estudio de la Ciencia, ya que pierde fuerza la afirmación de que aquél ha de ser más difícil debido a su relación con las Matemáticas; por lo que consideramos que van abandonando la idea bastante extendida, incluso entre los profesores, de que es una extensión de las Matemáticas y que, por ello, es tan difícil o más que ellas, probablemente influenciados por la forma de trabajo en el aula, en el que hacíamos mucho hincapié en la diferenciación de ambas (*ítem 32 -Creo que el estudio de la Ciencia es más difícil por las Matemáticas).*

Siguen teniendo una concepción dogmática de la Ciencia, aunque con menor fuerza, ya que continúan pensando que conduce finalmente a la verdad, aunque en este caso ya no aparece la dificultad que le atribuían en Octubre (*ítem 18 -Creo que la Ciencia conduce finalmente a la verdad-).*

Consideran, de forma mucho más clara que en las pruebas anteriores, que la Ciencia en sí es un valor intrínseco de la sociedad, ya que siguen creyendo que actualmente no podrían vivir aislados de la Ciencia, motivados en parte por las ideas que ya traían antes de empezar el curso (influencia tanto de la ciencia aplicada como de la tecnología), como posiblemente por haber podido descubrir un nuevo enfoque de la misma (*ítem 21 -Puedo vivir aislado de la Ciencia-).*

Piensan que la Ciencia es algo fiable y creíble, ya que afirman, como ocurría a principio de curso, que pueden aceptar sus afirmaciones, de tal manera que para ellos resultaría sorprendente que se demostrara que los hallazgos científicos eran erróneos (*ítem 3 -No puedo aceptar todo lo que la Ciencia afirma- e ítem 19 -No me sorprendería que se demostrara que los hallazgos científicos eran erróneos-).*

Aunque todavía no asumen que la Ciencia sea tan efectiva como la lógica para resolver los problemas del hombre, sí consideran que sólo esta pueda ayudarles a entender el mundo que les rodea; lo que nos lleva a pensar que, por un lado son capaces de diferenciarlas y que además dejan entrever una gran confianza en ella y en sus métodos (*ítem 24 -No pienso que la lógica sea más efectiva que la Ciencia para resolver los problemas del hombre e ítem 31 -Creo que sólo la Ciencia puede ayudarme a entender el mundo que me rodea-).*

b) Parte correspondiente a las actitudes hacia los científicos

Tienen una visión de los científicos que los acerca bastante a la "gente normal", ya que no sólo siguen creyendo, que una persona de inteligencia media podría ser un científico, sino que ello no impediría el progreso de la Ciencia (*ítem 2 -Creo que una persona de inteligencia media nunca podría ser un científico-).*

Tienen una visión más acertada y menos individualista lo que es el trabajo científico, de tal manera que consideran que el hecho de que critiquen el trabajo de otros colegas, no impide el progreso de la Ciencia, así como que estos deberían fiarse de los hallazgos de otros (*ítem 22 -Creo que el hecho de que los científicos critiquen el trabajo de otros científicos impide el progreso de la Ciencia- e ítem 29 -Un científico no debería fiarse de los hallazgos de otros científicos).*

Aunque todavía no llegan a considerar coherentes a los científicos, estiman que su trabajo es interesante para la sociedad, ya que se dirige fundamentalmente a resolver los problemas que plantea la sociedad misma y esto les preocupa realmente (*ítem 4 -Creo que los científicos no son coherentes e ítem 13 -Creo que a los científicos les importa de verdad resolver los problemas de la sociedad-).*

Curiosamente, y en contradicción con todo lo dicho anteriormente, tienen una visión un tanto escéptica sobre la relación entre los propios científicos, ya que creen que a ellos mismos les gustaría limitar su número (*ítem 8 -Creo que a los propios científicos les gustaría limitar su número pronto-).*

Consideran el progreso de la Ciencia como algo positivo, ya que siguen creyendo que los científicos de hoy están más cerca de la verdad que los del pasado, lo que les lleva a afirmar que están en condiciones de resolver eficazmente los problemas del hombre (*ítem 12 -Creo que los científicos pueden resolver los problemas del hombre eficazmente- e ítem 27 -Dudo que los científicos de hoy estén más cerca de la verdad que los del pasado-*).

C.5.3.2. Conclusión de la Subhipótesis Tres (SH3.2)

Después de haber analizado los resultados obtenidos en la prueba final de contenidos actitudinales, hemos observado algunos cambios en la percepción sobre la Ciencia y los científicos, siendo en la mayoría de las ocasiones en la dirección correcta. Por ello, aunque no se ha llegado a la situación ideal, hemos decidido aceptar como verdadera la Subhipótesis Tres (SH3.2) que decía:

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

C.5.4. RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA SH.3.3: ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA PRUEBA FINAL

Aunque pensamos que un estudio psicométrico de los resultados de nuestra experiencia no es un aspecto fundamental de la misma, no hemos querido omitirlo. La información que obtenemos nos permite caracterizar el cuestionario desde un paradigma diferente pero, indudablemente, interesante para la investigación. Por lo tanto, estudiaremos la fiabilidad, la dificultad, la discriminación y la estructura factorial de los valores obtenidos.

Lógicamente sólo analizaremos la prueba final de contenidos conceptuales y procedimentales; la actitudinal, según los datos aportados por su autor (Hasan, 1985), se supone validada.

C.5.4.1 Estudio de las características de la prueba final

a) Fiabilidad

En la literatura científica podemos encontrar diferentes técnicas para el estudio de la fiabilidad (test-retest, formas paralelas,...). Tradicionalmente este concepto estadístico se ha orientado fundamentalmente al análisis de pruebas objetivas. En nuestro caso, aunque han sido cuestiones concretas, presentábamos situaciones, experiencias e interrogantes abiertos por lo que la fiabilidad estadística tiene, quizás, menos sentido para nosotros. Lógicamente debemos desechar los coeficientes de estabilidad o de equivalencia y centrarnos en el de consistencia interna.

Para el cálculo de este coeficiente, usamos la técnica de las mitades, manteniendo que un ítem es par o impar si su cardinal lo es. Este criterio tiene la suficiente aleatoriedad para la realización del estudio. Aplicado el mismo, hemos obtenido los valores que aparecen en la Tabla 5.12

Items	Media	σ	Mediana
<i>Impares</i>	22.22	9.78	20.00
<i>Pares</i>	18.96	9.24	18.00

Tabla 5.12

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:

$$\rho_{ip} = 0.79 \Rightarrow \rho_w = 0.87$$

El valor de ρ_w es alto. Si bien los coeficientes de fiabilidad en tests normalizados tiende a ser de 0.90 o superiores, no existe una regla estricta según Downie y Heath (1982). En nuestro caso, nos parece un valor adecuado dada la diversidad de temáticas que la prueba aborda (Ondas, Sonido y Luz). Por ello, consideramos que reúne las condiciones que, en este aspecto, son exigibles desde la literatura científica.

b) Análisis de la dificultad de la prueba

Para analizar la dificultad de la prueba, debemos clasificar los ítems en función de ciertos criterios que los categoricen, a partir de los resultados obtenidos por los alumnos. Vamos a usar, en nuestro caso, los intervalos

utilizados en otros apartados; recordamos que en la descripción de algunas situaciones discutamos los rendimientos superiores a 2.25 e inferiores a 1.25. Aunque sea un poco asimétrica esta categorización, creemos que se justifica por la cuantificación restrictiva que hemos empleado. De esta manera la distribución de items quedaría como aparece en la Tabla 5.13.

Dificultad	Muy difícil	Difícil	Normal	Fácil	Muy fácil
<i>Intervalos rendimiento</i>	≤0.5	Entre 0.5 y 1.25	Entre 1.25 y 1.75	Entre 1.75 y 2.25	≥2.25
<i>Número items</i>	1	7	13	3	4
<i>%</i>	3.6	25.0	46.4	10.7	14.3

Tabla 5.13

No hay una distribución idónea única para la dificultad de los items. Nosotros usaremos los criterios de Garret (1971) que han sido defendidos por Rivas (1982). Según el número de items y los porcentajes esperados hemos realizado la Tabla 5.14

Dificultad	Muy difícil	Difícil	Normal	Fácil	Muy fácil
<i>Rendimiento</i>	10%	20%	40%	20%	10%
<i>Items esperados</i>	2.8	5.6	11.2	5.6	2.8

Tabla 5.14

Puesto que las frecuencias esperadas no aconsejan el uso de la χ^2 de Pearson, usamos la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov para el estudio de la bondad de ajuste de nuestra distribución de dificultad a los criterios de Garret. El valor crítico D_{cr} para el nivel de significación $\alpha = 0.05$ y 28 grados de libertad es 0.25. Como

$$D_{max} = 0.064 ; D_{max} \leq D_{cr} (\alpha = 0.05)$$

Por lo tanto, rechazamos que ambas distribuciones presenten diferencias significativas y admitimos que nuestra prueba reúne los requisitos establecidos en la literatura científica respecto a la dificultad de los items.

c) 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 5.15

Subgrupo	Clave de los alumnos													
	1	6	8	12	17	28	30	33	34	37	39	40	42	45,
<i>27% Superior</i>	1	6	8	12	17	28	30	33	34	37	39	40	42	45,
<i>27% Inferior</i>	3	14	16	21	23	25	26	29	32	36	38	43	46	51

Tabla 5.15

Aplicada la U de Mann-Whitney item por item, para estudiar si las diferencias entre ambos subgrupos eran significativas, obtuvimos los valores que aparecen en la Tabla 5.16

Item	2	3	4a	4b	4c	5	6	7a	7c	8	9	10	11a	11b
U	148	164.5	180.5	166.5	150	154.5	154.5	135.5	166	166	179	161	164	182
α	*	*	*	*	*	*	*	0.06	*	*	*	*	*	*

Tabla 5.16 (continúa)

11c	11d	11e	12a	12c	12d	13	14	15	16	17	18	19	20
135	150	148	141	150	146	162.5	142.5	141.5	152.5	163.5	190	178.5	119
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0.15

Tabla 5.16 (continuación)

Se observa que sólo en dos casos los valores de U no resultan significativos al nivel exigido ($\alpha \leq 0.05$). Podemos aceptar, por tanto, que los ítems del cuestionario final reúnen las características exigibles desde la literatura científica respecto a la discriminación.

d) Análisis factorial del cuestionario final

Si observamos la matriz de correlaciones de las 28 variables que componen la prueba final podemos ver que entre muchas de ellas existen unas relaciones significativas. Sin embargo, la gran cantidad de valores obtenidos impiden una interpretación conjunta de los mismos. Parece, pues, necesaria la aplicación de alguna técnica que priorice las más significativas, contemple las asociaciones motivadas por terceros,... Nosotros hemos utilizado el análisis factorial de los componentes principales.

A partir de la matriz de correlaciones estudiamos la esfericidad de Barlett, obteniendo un valor de $\chi^2 = 621.806$. Si consideramos que los grados de libertad son 378 (correlaciones posibles), resulta que es altamente significativa; por lo tanto, la matriz de correlaciones no es una matriz identidad y es posible aplicar la técnica mencionada.

Tomando nuevamente la matriz de correlaciones, aplicamos la técnica de rotación de Varimax y se seleccionaron aquellos factores que explicaban una varianza mayor que 1. En nuestro caso, aparecen 9 factores que explican un 72.04% de la varianza total (porcentaje bastante aceptable en este tipo de estudios).

Una representación de la estructura factorial simple aparece en la Tabla 5.17. Hemos utilizado como criterio de representación simbólica los siguientes:

- (*): Nivel de saturación entre 0.500 y 0.600
- (**): Nivel de saturación entre 0.601 y 0.700
- (***): Nivel de saturación entre 0.701 y 0.800
- (****): Nivel de saturación mayor de 0.800

Item	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9
2									
3								**	
4a			***						
4b	**								
4c	****								
5				****					
6						***			
7a								****	
7c					**				
8						*			
9							**		
10		**							
11a			*						
11b							*		
11c					****				
11d						**			
11e		**							
12a									
12c				*					
12d									
13					**				
14									
15							***		
16			*						
17			****						
18									
19							*		
20									***
% Varianza explic.	7.58	6.48	10.63	7.85	8.61	9.25	9.15	6.91	5.59

Tabla 5.17

Aunque no es un propósito de la investigación el etiquetar los diferentes factores, nos parece interesante indagar en ellos y señalar algunos referentes comunes de los items que los componen. Vamos, pues, a analizar dichos factores.

Factor 1

Este factor explica el 7.58% de la varianza, con un valor propio de 1.971. Está compuesto por los items:

Item	Descripción	Saturación
4b	(Dibujo de la marcha de un rayo de luz a través de dos medios desconocidos). ¿Qué conclusiones puedes sacar sobre el medio 1 y el medio 2?	0.700
4c	(Dibujo de la marcha de un rayo de luz a través de dos medios desconocidos). ¿Podría ser una situación real?. Descríbela	0.814

Ambos pertenecen a la cuestión, 4 en la que se plantea la situación hipotética de la marcha de un rayo a través de dos medios; primero se produce una refracción de la luz, luego una reflexión en un espejo y, por último, una nueva refracción. En ambos se ponen en juego los conceptos reseñados -reflexión y refracción- pero es, quizás, este último el que predomina dadas las características de los interrogantes y de las respuestas de los alumnos, que centran su atención en dicho fenómeno. Podríamos denominar el factor genéricamente como "*Identificación de fenómenos luminosos*".

Factor 2

Este factor explica el 6.48% de la varianza, con un valor propio de 1.684. Está compuesto por los items:

Item	Descripción	Saturación
10	Si le damos un golpe a un diapasón y tocamos la superficie del agua, seguro que se produce una onda sobre la superficie. Si la cosa hubiera sido al revés, ¿se habría producido alguna onda sobre el diapasón?. Explícalo detenidamente	0.608
11e	Explica el por qué de esta afirmación: "El sonido se propaga mejor a más temperatura"	0.656

Ambos se refieren al sonido y, más concretamente, a su propagación. Aunque en otros items puede coexistir esta concepción con otras, parece que en estos casos se dirige la atención a unos elementos singulares: el sonido es una perturbación producida en un medio material, pero su forma de propagación depende de muy diversos factores que son modificables. Esta idea ha sido proyectada en la discusión y utilización del modelo que hemos utilizado para la comprensión del fenómeno y posiblemente sea el origen de estos resultados. Podríamos denominarlo genéricamente como: "*Modelo del sonido: propagación*".

Factor 3

Este factor es el que explica el mayor porcentaje de la varianza (10.63%); su valor propio, lógicamente es el más alto (2.765). Está compuesto por los siguientes items:

Item	Descripción	Saturación
4a	(Dibujo de la marcha de un rayo de luz a través de dos medios desconocidos). ¿Podrías dibujar cómo continúa el rayo?. Explícalo	0.702
11a	Explica por qué "Los faros de los automóviles llevan detrás del foco luminoso un espejo parabólico"	0.513
16	(Dibujo bombilla, agujero y pantalla). ¿Qué zona de la pantalla estará iluminada?	0.551
17	(Dibujo de lámpara puntual, obstáculo, tres ventanas y dos pantallas). ¿Desde qué ventanas podemos ver la lámpara?. ¿Qué ventanas están iluminadas?. ¿Qué parte de la pantalla 2 está iluminada si la ventana está abierta?. Explícalo.	0.848

En los cuatro items, los alumnos han debido dibujar la marcha de los rayos de luz. En el primer caso, se producen dos fenómenos luminosos; en el segundo, una reflexión especular; en los dos últimos, simplemente una iluminación con un foco luminoso y con un manantial puntual. Sin embargo, el denominador común es la propagación rectilínea de la luz como justificación del resultado obtenido, aún cuando los rayos cambian de dirección. La interpretación, por tanto, que podemos dar al factor es genéricamente: "*Propagación rectilínea de la luz*".

Factor 4

Este factor explica el 7.85% de la varianza, con un valor propio de 2.040. Está compuesto por los items:

Item	Descripción	Saturación
5	Un cazador efectúa un disparo a 500 m de un observador y éste tarda 2 segundos en oírlo. Deducir, a partir de estos datos, la velocidad del viento, razonando si sopla a favor o en contra del cazador	0.827
12c	Comenta la siguiente frase: "A mayor longitud de onda, mayor velocidad"	0.578

En este factor se agrupan dos items que no tienen inicialmente una parte del módulo común: el primero corresponde a la parte del sonido y el segundo pertenece a las ondas. No creemos tampoco que el concepto de velocidad de propagación de una onda, implícito en ambos, sea un elemento tan definitorio que justifique esta asociación; es más, somos conscientes de la dificultad que entraña que el alumno establezca relación entre los contenidos que utiliza en el sonido con estos específicos de las ondas. Creemos, más bien, que pudiera existir una dependencia de las exigencias de razonamiento matemático que llevan consigo. Por ello, podríamos hablar genéricamente de "*Velocidad de las ondas: relaciones matemáticas*".

Factor 5

Este factor explica el 8.61% de la varianza, con un valor propio de 2.238. Está compuesto por los items:

Item	Descripción	Saturación
7c	Un tubo de goma se tensa y se atan sus extremos a dos puntos fijos. Se da un golpe cerca de uno de sus extremos con una regla plana. ¿Qué tipo de movimiento se produce?	0.689
11c	Explica el por qué de esta afirmación: "El sonido puede sufrir refracción"	0.847
13	Imagínate que estamos soplando a través de una pajilla de tomar refrescos. ¿Cambiaría el sonido si la pajilla fuera más corta?. Explícalo	0.661

La primera característica común es la pertenencia a la parte de sonido. Sin embargo, a partir de aquí, no es fácil encontrar elementos que justifiquen la inclusión conjunta de estos items en el factor. Si bien el primero y el último se refieren a la producción del sonido, el segundo pertenece claramente al fenómeno de la refracción. Nuevamente creemos que el modelo interpretativo que hemos utilizado está detrás de toda esta relación. En este caso, podríamos denominarlo genéricamente como "*Modelo del sonido: producción y naturaleza*" aunque, como hemos dicho, tenemos algunas dudas.

Factor 6

Este factor explica el 9.25% de la varianza, con un valor propio de 2.405. Está compuesto por los siguientes items:

Item	Descripción	Saturación
6	El índice de refracción del agua es $4/3$ y el del vidrio $3/2$. ¿En cuál de estas sustancias se propaga la luz a mayor velocidad?. ¿Cuál es más refringente?	0.708
8	Todo el mundo sabe que los sonidos se oyen mejor debajo del agua. ¿Podrías encontrar una explicación a este hecho?	0.546
11d	Explica el por qué de esta afirmación: ¿La velocidad de propagación del sonido en el vacío es cero"	0.605

Estos tres items, referidos a la luz y al sonido, tienen como característica común la velocidad de propagación. Aunque este concepto esté implícito también en el factor 4, la existencia separada de ambos parece que se justifica, en esta ocasión, por una mayor supeditación conceptual. Hay que considerar que, en todos los casos, se pretende que el alumno interprete un valor numérico y no se quede solamente en el establecimiento de relaciones matemáticas; por ello, las exigencias cognitivas son diferentes y pueden justificar la existencia del factor. Podríamos hablar genéricamente: "*Velocidad de propagación: interpretación de los resultados*".

Factor 7

Este factor explica el 9.15% de la varianza, con un valor propio de 2.378. Está compuesto por los items:

Item	Descripción	Saturación
9	(Debate sobre la visión entre un profesor de Física y Luisa -una alumna-)	0.653
11b	Explica el por qué de esta afirmación: "En una habitación vacía es muy difícil entender lo que dice una persona"	0.570
15	Se tiene en una casa una habitación pequeña y una muy grande, con dos bombillas iguales en el techo. ¿Qué paredes están más iluminadas?. Explica tu contestación	0.704
19	Cuando el Sol está delante de ti, ¿dónde está tu sombra?. Explícalo.	0.547

En este factor concurren cuatro items de características "a priori" diferentes. Por un lado en las cuestiones 9 y 11b (y en menor medida la 15) aparece implícita la idea de reflexión; por otro, si cogemos 15 y 19 el concepto de iluminación parece que justifica la relación entre ellos, pero también podríamos interpretarlo en línea con la utilización del modelo corpuscular en situaciones próximas (obviamente excluyendo el de reverberación). Nos da la impresión que la presencia del 19 distorsiona un tanto la interpretación del factor ya que la producción de sombras es más lógico que se hubiera asociado a otros items (el 20, por ejemplo). En cualquier caso, creemos que existe un aspecto que, si bien no es exclusivo de esta agrupación, sí es donde se pone de manifiesto de forma más evidente: la aplicación de conocimientos a situaciones de gran cotidianidad. Por ello, lo denominamos genéricamente: "*Análisis de situaciones cotidianas muy próximas*".

Factor 8

Este factor explica el 6.91% de la varianza, con un valor propio de 1.797. Está compuesto por los siguientes items:

Item	Descripción	Saturación
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 entre uno y otro?. Distancia: 1000m, $T_{\text{aire}}^{\circ} = 15^{\circ}\text{C}$	0.628
7a	¿Cómo probarías que tu voz tiene su origen en una vibración y que el sonido emitido transporta energía?.	0.882

Ambos items se refieren al sonido. El primero se trata de un problema numérico donde se exige que el alumno ponga en juego el concepto de velocidad de propagación, la dependencia con el medio,... y el segundo incide en el origen del sonido y en su naturaleza ondulatoria. Por lo tanto, no es fácil encontrar un aspecto común desde un punto de vista estrictamente conceptual. No obstante, en los dos casos ha existido una dependencia para la comprensión de qué es lo que se estaba planteando. Desde esta perspectiva, podríamos pensar en que existe un elemento compartido que daría origen a la relación y que denominaríamos: "*Identificación de una situación problemática*", aunque como en algún otro caso, tenemos ciertas dudas.

Factor 9

Este factor explica el 5.59% de la varianza, con un valor propio de 1.453. Está compuesto por un único item, lo que hace innecesaria su justificación.

Item	Descripción	Saturación
20	Señala la sombra del árbol que está en posición correcta	0.795

En base a los resultados obtenidos en el análisis factorial, podemos extraer dos conclusiones:

- es posible reducir los items a un número de factores que expliquen su varianza
- los factores están compuestos por los items que presentan unas singularidades de contenido que son interpretables, en casi todos los casos, y coherentes con los aprendizajes generados por nuestra propuesta metodológica.

C.5.4.2. Conclusiones de la Subhipótesis Tres (SH.3.3)

Por lo tanto, a la vista de los resultados obtenidos en la fiabilidad, dificultad, discriminación y validez, admitimos la SH.3.3 y señalamos, con los matices indicados en la discusión que:

Los instrumentos de evaluación utilizados como prueba final de nuestra investigación reúnen las condiciones exigibles desde la literatura científica en cuanto a fiabilidad, dificultad, discriminación y validez.

C.5.5. RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA SH.3.4: PRUEBA DE RETENCIÓN DE CONTENIDOS CONCEPTUALES Y PROCEDIMENTALES

Como ya dijimos en el diseño experimental, nos parece importante no sólo realizar una evaluación final de los aprendizajes generados por nuestra intervención en el aula, sino que debemos indagar en qué queda de lo aprendido al cabo de un cierto tiempo. No se puede ignorar el hecho de que, si no se utiliza un conocimiento, termina olvidándose. Pero también es cierto que, cuando una información se procesa adecuadamente, es más fácil que sea retenida; posiblemente este sea uno de los fundamentos del aprendizaje significativo.

Para abordar este tema, aplicamos una estrategia en la elaboración de la prueba que fue descrita en el apartado 2.4.4 y, con ella, quedó configurada tal como aparece en el Apéndice VII. Nos parece innecesario realizar un estudio descriptivo, como en otros casos, pues incidiríamos en argumentos ya expuestos. Vamos a entrar directamente en el estudio cuantitativo de los resultados.

C.5.5.1 Estudio cuantitativo de los resultados de la prueba de retención

Para tener una visión más global de las respuestas de los alumnos obtenidas en la prueba de retención sobre los contenidos conceptuales y procedimentales del módulo de Ondas, se cuantificaron éstas (ver Anexo 7) y se les aplicaron una serie de estadísticos básicos, igual que hicimos en las pruebas iniciales y finales, algunos de cuyos resultados se recogen en la Tabla 5.18

Item	Nº casos	Máx	Mín	Media	Desv. Típ.	Frecuencias					Porcentajes(%)				
						0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
2	37	4	0	1.32	1.58	19	2	8	1	7	51	5	22	3	19
4a	37	4	0	1.84	1.40	9	6	10	6	6	24	16	27	16	16
4b	37	2	0	0.57	0.80	23	7	7	0	0	62	19	19	0	0
4c	37	3	0	1.03	0.93	13	12	10	2	0	35	32	27	5	0
5	37	4	0	1.59	1.66	16	3	7	2	9	43	8	19	5	24
8	37	4	0	1.68	1.20	6	13	8	7	3	16	35	22	19	8
10	37	4	0	1.35	1.36	15	5	9	5	3	41	14	24	14	8
11a	37	3	0	1.57	0.83	3	15	14	5	0	8	41	38	14	0
11b	37	4	0	1.62	1.16	8	8	13	6	2	22	22	35	16	5
11c	37	3	0	0.19	0.70	34	1	0	2	0	92	3	0	5	0
11d	37	4	0	1.81	1.29	9	2	18	3	5	24	5	49	8	14
11e	37	3	0	1.08	1.21	18	5	7	7	0	49	14	19	19	0
13	37	3	0	0.59	0.90	22	11	1	3	0	59	30	3	8	0
15	37	4	0	1.30	1.10	9	14	11	0	3	24	38	30	0	8
17	37	4	0	1.68	1.53	11	9	6	3	8	30	24	16	8	22
19	37	4	0	2.22	1.40	4	11	4	9	9	11	30	11	24	24

Tabla 5.18

En primer lugar se observa que solamente tres de los dieciseis items tienen unos resultados con una media inferior a 1. Recordemos que eran cuatro de veintiocho items en la prueba final y once de diecinueve en la inicial los que reunían esta característica. Aquellos se refieren a la relación entre la propagación de la luz y el medio, a la refracción del sonido y a las características de éste.

Se aprecia asimismo que únicamente hay uno de ellos que tiene la media superior a 2; mientras que eran seis de veintiocho items en la prueba final y dos de diecinueve en la inicial. Aquel se refiere al mecanismo de formación de las sombras. En cualquier caso, no debemos olvidar el carácter restrictivo de la cuantificación para no extraer ideas precipitadas.

Si nos fijamos en las frecuencias, se observa que en cuatro items el número de ceros supera el 50% de los alumnos. Frente a esta situación, en ningún caso, el número de tres y cuatro llegan a dicho porcentaje; en cinco items el número de cuatro es cero. Esto podría hacernos creer que realmente las pérdidas han sido enormes pero resulta conveniente profundizar en cada item para ver qué otros aspectos hay detrás de estos resultados. Pasamos, pues, al estudio detallado por pregunta, centrándonos en el análisis didáctico de los mismos.

Respecto a la *pregunta 2* los resultados obtenidos fueron tan dispares como en la prueba final. Teniendo en cuenta el tipo de cuestión -diseño de una experiencia-, podemos considerar que estas tareas no están al alcance de todos los alumnos si no se le dedica un tiempo específico y se insiste reiteradamente en este conocimiento. Pero, por otro lado, los valores se mantienen de forma bastante consistente, lo que proyectaría la idea de un aprendizaje duradero, más incluso que los conceptuales. Como otros contenidos procedimentales tarda en adquirirse pero también en olvidarse. Aunque sea necesario profundizar en la mejora de la enseñanza de este tipo de contenidos, la persistencia hace que seamos optimistas en cuanto a la bondad de una propuesta como la nuestra.

En el *item 4a* se han obtenido unos resultados bastante homogéneos que, además, podemos considerar positivos ya que es uno de los que obtuvieron rendimiento superiores a 1.5. Teniendo en cuenta que estaban implicados contenidos un tanto singulares en las Ciencias Experimentales, como la representación icónica, podemos interpretar que la información transmitida de forma visual se retiene con más facilidad. Esta interpretación puede ser cierta pero no es absoluta; creemos que la insistencia que realizamos en las leyes de la refracción y reflexión constituyen un todo que el alumno trasfiere cuando lo ha aprendido. Por otro lado, se debe evitar una excesiva disciplinariedad que haga "materias aisladas" y plantee una separación drástica de los contenidos de las distintas asignaturas, lo que dificulta un trabajo serio y riguroso, aleja el conocimiento académico del social y desconcierta a los estudiantes hasta el punto de que llegan a distinguir entre la sabiduría "real" y la de la "escuela".

La *pregunta 4b* en la que estaba implicado un contenido procedimental complejo (elaboración de conclusiones a partir de un proceso), no ha obtenido precisamente unos resultados brillantes, sobre todo si tenemos en cuenta que el rendimiento es claramente inferior al de la prueba final. Parece lógico, ya que este conocimiento es el punto final de otros anteriores (toma de datos, análisis de los mismos, interpretación,...) que, como elementos previos, condicionan el establecimiento de conclusiones. No es algo evidente que se aprende por casualidad; se trata de una síntesis metacognitiva en la que los alumnos deben poner en relación aspectos dispersos. Es difícil diseñar una secuencia de conceptos; aquí se trataría de secuenciar estrategias y, en este campo, los avances son más limitados.

El *item 4c* ha obtenido también unos resultados bajos y poco homogéneos, aunque hay que resaltar que prácticamente idénticos a los obtenidos en la prueba final. Teniendo en cuenta la gran relación de este item con los anteriores y la estabilidad de las respuestas, el rendimiento nos parece satisfactorio. La explicación a este hecho, teniendo en cuenta que las dificultades son similares a las de los dos anteriores, estriba en que, en este caso se está pidiendo una transferencia a la vida real, en la que los alumnos suelen sentirse más cómodos. A pesar de que entendemos que los resultados son claramente mejorables, este tipo de actividades son siempre sumamente interesantes, porque ayudan a dar una utilidad a lo que enseñamos en el aula. Esto inevitablemente contribuye a acercarlos a la Ciencia y a mostrarles su verdadero espíritu, que no es otro que el de intentar explicar los fenómenos que nos rodean.

En la *pregunta 5* se han obtenido unos resultados prácticamente idénticos a los de prueba final, lo que podemos apreciar tanto en el valor de la media como en el de la desviación estándar. Esto tiene un gran valor si consideramos que se trata de un ejercicio numérico y ya hemos señalado las dificultades que entrañaban para los alumnos sus escasos conocimientos matemáticos. Creemos que, en esta ocasión, hemos logrado nuestro objetivo de forma satisfactoria, ya que no sólo hemos conseguido unos resultados aceptables, sino que estos se mantienen de

forma estable con el tiempo. Es cierto que la complejidad aritmética no es grande una vez identificadas las variables pero es precisamente la identificación lo que condiciona este tipo de tarea; el estudiante suele buscar la fórmula que debe aplicar más que la comprensión de la situación problemática. Esa actitud desvirtúa los valores formativos de la actividad.

Los resultados del *ítem 8*, con una homogeneidad parecida, tienen un rendimiento levemente superior a los de la prueba final y pueden entenderse como satisfactorios. Esta sorprendente mejoría podemos atribuírsela, obviando los errores que pudiéramos haber cometido en la evaluación de las pruebas, al asentamiento de los conocimientos y a la mayor disponibilidad que tuvieron para responder en la prueba de retención. Independientemente de ello, lo importante es que volvemos a apreciar una estabilidad en el aprendizaje de cara al proceso educativo. Teniendo en cuenta que la respuesta correcta pasa por relacionar la audición con el medio en el que se propaga el sonido, parece detectarse de nuevo la bondad de la propuesta en estos casos, en los que aparecen cuestiones relacionadas con la vida cotidiana, animándonos a la realización de este tipo de actividades.

En el *ítem 10*, las respuestas vuelven a indicar el mantenimiento de los resultados ya que tanto la media como la desviación estándar son prácticamente las mismas que en la prueba final. Parece que se pone de manifiesto, en este caso que la mayoría de ellos continuaba siendo capaz de identificar lo que es una onda, lo que lógicamente constituía uno de los objetivos prioritarios de un módulo de estas características. Creemos que en éste como en otros casos ha influido de forma determinante el haber dotado de un modelo interpretativo, comprensible y útil para los alumnos. Estas estructuras suelen perdurar más que otros elementos en la mente de los estudiantes.

La *pregunta 11a*, con una media levemente inferior a la de la prueba final, aunque superior a 1.5, no tiene unos resultados tan agrupados en los valores intermedios como ocurría entonces. Consideramos, por tanto, que los contenidos implicados en esta pregunta (en torno a la reflexión y a la orientación de la luz), que considerábamos asimilados (al menos de forma parcial), se han mantenido. Teniendo en cuenta que la respuesta a este ítem incluía la justificación de su propia propuesta respecto a una serie de variables y la aplicación de una de las leyes de la reflexión, de cierta dificultad para nuestros alumnos, nos sentimos satisfechos con el rendimiento obtenido. De todas maneras, nos ratificamos en que convendría profundizar en dicho fenómeno en posteriores niveles para llegar a comprenderlo de una forma más profunda.

Los resultados del *ítem 11b* son parecidos (aunque levemente inferiores) a los de la prueba final. Como puede apreciarse en el valor de la media (mayor que 1.5), continúa siendo una de las más altas de toda la prueba. Hay que señalar, además, que casi un 65% de los alumnos obtiene unos valores intermedios (anteriormente fue del 71%). En función de los conceptos implicados (reflexión, reverberación, audición, etc.) y de las respuestas de los estudiantes, consideramos importante sobre todo las argumentaciones utilizadas. No parecen fruto de una reproducción académica, bastante habitual en otras experiencias, sino que surgen del convencimiento, de haber sido capaces, en muchos casos, de explicar con sus palabras sus conocimientos científicos.

En la *pregunta 11c* los resultados son prácticamente nulos, con una media (la más baja de toda la prueba) inferior a 0.2. No podía ser de otra manera, pues en la prueba final también fue este ítem el que obtuvo los peores valores y a esto había que hay que añadir, lógicamente, las pérdidas. A la vista del rendimiento tan bajo, poco más nos queda que decir; quizás, señalar la gran dificultad que tiene el concepto de refracción para los alumnos de estas edades y la necesidad de planificar cuidadosamente su enseñanza desde una perspectiva realista que evite objetivos demasiado ambiciosos y, por tanto, inalcanzables.

En el *ítem 11d* en cambio, en que la media de los resultados es también mayor que 1.5, tiene unos valores bastante semejantes, aunque levemente inferiores, a los de la prueba final. La consistencia y estabilidad de las respuestas respecto a la relación entre la propagación del sonido y el medio, nos hace pensar que han sido alcanzados, de forma significativa, los objetivos que nos proponíamos. Entendemos, que hemos logrado mantener en los alumnos la disponibilidad de herramientas conceptuales consistentes y acercarlos a una interpretación más científica de los mecanismos de propagación de las ondas (sonido en este caso). A todo ello, creemos que ha contribuido decisivamente nuestra insistencia en abordar los modelos interpretativos ya mencionados.

En la *pregunta 11e*, que trataba del mismo tópico que el anterior, los resultados obtenidos, aún siendo sumamente parecidos a los de la prueba final, no son tan brillantes. Las conclusiones parecen bastante evidentes: los alumnos siguen sin ser capaces de incluir en su modelo un concepto, no precisamente sencillo, como es la temperatura y, por tanto, no llegan a establecer la influencia entre ésta y el movimiento de las partículas en el medio. Nos anima, no obstante, saber que los que llegaron a responder de forma satisfactoria, mantienen los conocimientos nueve meses después.

En el *ítem 13* los resultados son de los más bajos (es uno de los tres cuya media es inferior a uno) e inferiores a los de la prueba final. Como la complicación de la pregunta estribaba en que era necesario contemplar las cualidades del sonido de forma conjunta, es lógico pensar que dichas dificultades se han podido acrecentar con el tiempo. Sin duda, las limitaciones impuestas por la presencia del concepto de longitud de onda supone un referente obligado para comprender algunas respuestas. Los errores cometidos y el mantenimiento de los mismos, además de sugerirnos las pertinentes mejoras en nuestro diseño, ponen de manifiesto la poca ayuda que podemos esperar, al respecto, de otras asignaturas en las que posiblemente se estudian.

Los resultados de la *pregunta 15* (sorprendentemente mejores que los de la prueba final), a pesar de tener una media superior a uno, no son brillantes. Estas distorsiones pueden estar justificadas, además de por lo dicho anteriormente el *ítem 8*, porque las muestras no eran exactamente las mismas ya que, de los 51 alumnos que realizaron la prueba final, tan sólo 37 (los que continuaron sus estudios en el Centro en el curso siguiente), hicieron la de retención. Asumiendo que la clave de la pregunta era la justificación de por qué estaban más iluminadas las paredes de la habitación pequeña, también podemos argumentar, siendo un poco menos críticos con nosotros mismos, que los conocimientos han ido un poco más allá al cabo del tiempo, ayudados por el fomento constante que hacíamos de las estrategias sobre como "aprender a aprender".

Los resultados del *ítem 17* nos indican unas respuestas bastante homogéneas, aunque estabilizadas con respecto a las obtenidas en la prueba final. Sin considerar significativa la pequeña evolución favorable que ha experimentado, observamos que estamos ante una de las preguntas que tienen rendimiento mayor a 1.5. Teniendo en cuenta sus características, consideramos que la bondad de los resultados estriba en que se trata de un foco puntual, del mismo tipo que el aparato que nosotros solíamos utilizar en clase para llevar a cabo algunas experiencias; posiblemente los resultados serían otros si entraran en juego el concepto de penumbra.

Los valores obtenidos en la *pregunta 19*, en la que se hace referencia a la formación de la sombra, son los más altos de toda la prueba, con una media superior a 2.2 que es levemente inferior a la obtenida en la prueba final. Hay que considerar que en esta ocasión no se presentan grandes dificultades para los alumnos de estos niveles educativos, aunque se observa que hay más del 40% de los alumnos que contestan de forma incorrecta, prácticamente todos por la poca consistencia de la explicación que daban, como ocurría también en la prueba final.

Como comentario final, nos gustaría resaltar que, aunque los resultados no sean espectaculares, hay que recordar el carácter restrictivo de la cuantificación. En cualquier caso, la Subhipótesis se refiere a la retención y, en este sentido, no hay grandes diferencias con los resultados de la prueba final, tanto a nivel cualitativo como cuantitativo. En cambio, observamos que la diversificación de las contestaciones en esta prueba de retención es inferior a la de la prueba final; mientras anteriormente aparecían contestaciones en todos los niveles para casi todos los ítems (independientemente de sus porcentajes), en este caso, no ocurre en seis de los dieciséis (ítems 4b, 4c, 11a, 11c, 11e y 13).

Nos gustaría, además, comentar un hecho que ocurrió durante la realización de la prueba, que pone de manifiesto la gran sintonía que llegamos a establecer con los alumnos a lo largo de la aplicación del módulo objeto de nuestra investigación. Cuando tuvimos que pasar la prueba de retención, se encontraban en el Centro algunos alumnos que habían pertenecido a la muestra, pero que en ese momento, al no seguir cursando estudios en el IFP de Molina de Segura, no formaban parte de la muestra objeto de nuestro estudio; dichos alumnos, al enterarse de nuestra actividad, solicitaron realizar también ellos la prueba de retención, a lo que lógicamente accedimos muy gustosos.

C.5.5.2 Conclusión de la Subhipótesis Cuatro (SH.3.4)

Analizados los resultados obtenidos en la prueba de retención de contenidos conceptuales y procedimentales, admitimos la SH.3.4 y señalamos, con los matices señalados en la discusión que:

Los conocimientos de los alumnos respecto a los contenidos de las Ondas, el Sonido y la Luz, después de la aplicación de la metodología ensayada, son estables al cabo de un cierto tiempo

C.5.6 CONCLUSIÓN DE LA HIPÓTESIS PRINCIPAL TRES (H.P.3)

Analizados los resultados de las pruebas finales de contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales y realizado el estudio de la retención después de nueve meses desde nuestra intervención, admitimos la Hipótesis Principal Tres que decía:

Los conocimientos de los alumnos respecto a las Ondas, el Sonido y la Luz, después de la aplicación de la metodología ensayada, son más estructurados y han mejorado manifiestamente desde un punto de vista científico. Estos conocimientos permanecen estables al cabo de un cierto tiempo

CAPÍTULO VI

En este capítulo nos centraremos en el estudio de la Hipótesis Principal Cuatro que podría considerarse complementaria de las HP.2 e HP.3. Su intención es profundizar en las posibles diferencias y relaciones entre los valores obtenidos con los diversos instrumentos de recogida de información utilizados en la investigación. El hecho de tener un gran volumen de respuestas, entrevistas, libretas, ... nos ha obligado a apoyarnos en estudios cuantitativos que hagan más manejables los cruces y los contraste de variables. En este contexto, nos parece conveniente y útil aprovechar las posibilidades que presenta el uso de la estadística (lógicamente no paramétrica) y, con su aplicación, indagar en la significación de las posibles afirmaciones que tratamos de verificar o rechazar en las subhipótesis.

Empezaremos estudiando el contraste entre la situación inicial y la final. Mantendremos el análisis de diferencias entre los resultados globales de las pruebas de contenidos conceptuales y procedimentales, pero sin olvidar que podemos dimensionar este total por esquemas. También contrastaremos los valores obtenidos en las tres aplicaciones de la prueba de actitudes (Octubre, Marzo y Junio).

Después estudiamos las relaciones entre la información recogida en la prueba inicial, los cuadernos de trabajo y el cuestionario final. Teniendo en cuenta la importancia de las variables implícitas (características iniciales de los alumnos, proceso de construcción del conocimiento y perfil final de los estudiantes), nos parece relevante de cara a la interpretación de qué ha ocurrido con la puesta en práctica de la metodología ensayada.

Por último, introduciremos los resultados globales de la retención, variante de la evaluación final con connotaciones propias muy interesantes. Aunque ya esbozamos algunas ideas en el capítulo anterior, un análisis estadístico entre los resultados iniciales, finales y los obtenidos al cabo de nueve meses, nos ofrece una panorámica bastante aproximada de la posible rentabilidad del módulo que hemos llevado al aula.

C.6.1 HIPÓTESIS PRINCIPAL CUATRO: CONTRASTE DE RESULTADOS Y CRUCE DE VARIABLES

La Hipótesis Principal Cuatro (HP.4) decía:

Existen progresos significativos en el aprendizaje de las Ondas, el Sonido y la Luz con la metodología ensayada, estableciéndose relaciones significativas entre algunas de las variables estudiadas y no hay pérdidas significativas al cabo de un cierto tiempo en el aprendizaje

Dicha hipótesis está desarrollada en una serie de subhipótesis (SH) que se refieren al contraste entre las pruebas iniciales-pruebas finales, el establecimiento de relaciones, si las hay, entre las variables experimentales... y, por último, el contraste con la prueba de retención. Las subhipótesis eran:

Subhipótesis Uno (SH.4.1): La aplicación de la metodología ensayada sobre las Ondas, el Sonido y la Luz, produce diferencias significativas entre los resultados iniciales y finales.

Subhipótesis Dos (SH.4.2): Hay relaciones significativas entre los resultados obtenidos en el aprendizaje final y otras variables intervinientes en el proceso.

Subhipótesis Tres (SH.4.3): Las pérdidas debidas al olvido, al cabo de nueve meses de la puesta en práctica de la metodología ensayada, no son significativas.

C.6.2 RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA SH.4.1: CONTRASTE INICIAL-FINAL

Habíamos visto en el capítulo anterior que se percibían unos avances en el aprendizaje de los alumnos respecto a los contenidos de las Ondas, el Sonido y la Luz (tanto a nivel conceptual como procedimental y actitudinal). Asumimos que los progresos resultan lógicos en cualquier proceso de enseñanza. Si unos estudiantes no tienen muchas ideas sobre una temática y se realiza una intervención intencionada, no debe resultar sorprendente que se detecten mejores respuestas que antes de comenzar la experiencia. En caso contrario, no muy "habitual" en la literatura científica, podríamos pensar en que una determinada variable independiente empobrece una dependiente.

Sin embargo, no debería ser extraño encontrar situaciones "desfavorables"; de hecho, se puede detectar que, a medida que avanza un curso académico, la actitud es más negativa frente a las asignaturas, que las estrategias de resolución de problemas se vuelven menos creativas y más reiterativas, que las pérdidas debidas al olvido son significativas... Pensamos que nuestra situación, después de los resultados de las hipótesis anteriores, no parecen ir en esa línea negativa pero habrá que tener argumentos que lo respalden.

Podría pensarse que lo evidente no precisa demostración. No obstante, en la investigación en el aula, creemos que la evidencia no siempre se corresponde con la realidad: el proceso de comunicación humana es complejo, no siempre es observable y, desde luego, tiene muchas distorsiones en su evaluación. Por lo tanto, parece necesario incidir en el estudio de la significación de las posibles diferencias entre las características iniciales y finales de los alumnos. En el mismo, mantendremos la diferenciación respecto a los conceptuales y procedimentales, y los actitudinales.

C.6.2.1 Contraste inicial-final respecto a los contenidos conceptuales y procedimentales

Obviamente, para poder realizar un contraste entre variables hay que buscar unos referentes comunes que permitan la comparación.

Un primer condicionamiento, en nuestro caso, es que el cuestionario inicial y final no coinciden. Aunque en su momento (apartado 2.4) ya justificamos el por qué de estas diferencias, queremos recordar que nuestra experiencia nos dice, que las cuestiones planteadas inicialmente tienen casi siempre unas connotaciones especiales para los alumnos. Estos las van reconociendo en el desarrollo del discurso didáctico, las comentan con sus compañeros o con el propio profesor, las preparan para la evaluación,... Por ello, pensamos que la repetición de la prueba, cuando sólo han pasado dos meses desde la primera aplicación, puede "engordar" los auténticos efectos del proceso de enseñanza y llevar a conclusiones un tanto "eufóricas", que no siempre se corresponde con lo que realmente estamos valorando.

Pero, además, nosotros solemos utilizar las afirmaciones iniciales en el propio diseño del módulo y de sus materiales, para el contraste de ideas entre los estudiantes,... Es decir, las hemos dotado de una importancia real para el desarrollo de la propuesta. No nos parecía adecuado, en este sentido, volver a incidir en "algo a lo que se les había entrenado a responder" y, aunque mantuvimos implícitos los contenidos similares, cambiamos los planteamientos y la redacción de las preguntas.

Desde el punto de vista investigador no será posible, por lo tanto, comparar ítem a ítem pero, desde la propia función docente, resulta coherente con nuestra concepción sobre el papel que deben jugar estos resultados en el feedback permanente que, como profesionales de la educación, nos planteamos en la tarea diaria. Esta interrelación constituye el fundamento de la investigación sobre la acción educativa y el soporte de cualquier propuesta de innovación en el aula.

No obstante, aprovechando la cuantificación realizada, podríamos establecer un total de aprendizaje como suma aritmética de los valores obtenidos en cada ítem. Aunque desde el punto de vista matemático es posible, podríamos discutir extensamente si el parámetro así calculado puede considerarse como un estadístico representativo de los conocimientos en un determinado momento.

Aún así, nos encontramos con una segunda limitación (de menor envergadura), en ambas pruebas existía

un número diferente de ítems. Así, en la inicial habíamos pasado 19 cuestiones conceptuales y 6 procedimentales, mientras que en la final el número de unidades de análisis era 28. Esto nos exige hablar en términos de rendimientos como elementos de contraste para la comparación de resultados, ya que precisamos de unas escalas equivalentes y homogéneas para que las pruebas puedan ser comparables.

Con todas estas matizaciones, hemos aplicado la T de Wilcoxon puesto que los grupos son dependientes. En la Tabla 6.1 se recogen algunos de los resultados correspondientes a los estadísticos básicos.

	Nº casos	Media	σ	Mín	Má x	Rend. medio	σ rendi.	Mín	Máx
<i>Prueba inicial conceptual</i>	51	20.61	9.64	2	38	27.12 %	12.68	2.63	50.00
<i>procedimental</i>	51	4.65	3.31	0	13	23.24 %	16.55	0.00	65.00
<i>total</i>	51	25.26	11.94	3	48	26.31 %	12.44	3.12	50.00
<i>Prueba final total</i>	51	42.51	18.71	2	83	37.95 %	16.70	1.79	74.11
<i>Progresos final-inicial</i>	51					+11.65 %	12.58	-9.97	40.03
T de Wilcoxon	Z=5.16 (final-inicial); $\alpha=0.00$								

Tabla 6.1

En la tabla aparecen el número de casos, la media y la desviación típica de cada prueba, los valores mínimos y máximos de las mismas, el rendimiento medio, la desviación típica de éste y los valores mínimos y máximos del rendimiento. Se incluyen los progresos final-inicial que representan las diferencias de rendimiento y, por último, se añade el cálculo de la T de Wilcoxon.

Como puede apreciarse, el valor obtenido en el contraste de diferencias es altamente significativo, lo que nos podría indicar que realmente se ha producido un aprendizaje a partir de nuestra intervención en el aula. Son muy interesantes los valores de la fila correspondiente a los progresos por cuanto proyectan la subida de casi el 12% respecto a los valores iniciales que, dado el carácter restrictivo de los criterios de cuantificación, nos parece un porcentaje bastante satisfactorio. El valor de la desviación típica nos pone de manifiesto que no todos los alumnos han evolucionado igual; es más, creemos que el alto valor del coeficiente de variación (1.08) representa una heterogeneidad importante en el progreso, probablemente debida al gran cambio producido en el grupo.

Sin duda, estos valores marcan ya una pauta inequívoca de evolución del aprendizaje que viene a constatar estadísticamente algo que intuitivamente se desprende del análisis efectuado en la HP.2 y en la HP.3. Sin embargo, no nos ofrece ni una mayor información sobre dónde se han producido las diferencias ni sobre el rigor de la conclusión, dado que habíamos realizado una simplificación informativa de los datos originales que podían condicionar las conclusiones numéricas a las que llegábamos.

En esta situación, cobran especial importancia los resultados obtenidos en los esquemas iniciales y finales respecto a los diferentes tópicos analizados. En efecto, los mencionados esquemas constituyen, en sí mismos, unas unidades de análisis que representan, de una forma bastante aproximada, las estructuras que utilizan los alumnos en sus razonamientos. Pero, además, nos permiten dimensionar los valores totales de manera que no es necesario hablar de un "aprendizaje genérico" sino de un aprendizaje sobre "magnitudes ondulatorias", "propagación del sonido", "reflexión de la luz", etc.

Por otro lado, los que hemos denominado modelos, tienen una mismos criterios de categorización en las pruebas iniciales y finales (en muchos casos se repiten), lo que permite que el contraste esté basado en elementos homogéneos y comparables. Según el proceso seguido, podemos suponer, por ejemplo, que un alumno que utiliza el PL-1 para la propagación de la luz en la prueba inicial y otro que lo use en la final tienen bastante más equivalencia que si dos estudiantes tienen un rendimiento del 28% en el total de las pruebas inicial y final.

Por último, al hacer unidades de análisis más pequeñas, nos permite que los riesgos de error en la codificación sean menores pues la información de la que se parte no es un cuestionario completo sino que está más localizada en los diferentes ítems que nos han servido para definir los esquemas.

Tomando todos estos razonamientos como punto de partida, hemos realizado el contraste entre los modelos que usaban los alumnos al comienzo de la experiencia y al final de la misma, aplicando lógicamente la T de Wilcoxon. Los resultados aparecen en la Tabla 6.2

Esquemas	Nº casos	Prueba inicial		Prueba final		Nº modalidades		T de Wilcoxon	Significación
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	P. inicial	P. final		
<i>Magnitudes ondulatorias</i>	51	MO-1	MO-6	MO-3	MO-8	10	8	Z= 5.65	(*)
<i>Propagación del sonido</i>	51	PS-1	PS-6	PS-1	PS-7a	6	10	Z= 5.78	(*)
<i>Reflexión del sonido</i>	51	RS-1	RS-5	RS-1	RS-7	6	8	Z= 4.57	(*)
<i>Naturaleza de la luz</i>	51	NL-1	NL-5	NL-4a	NL-6a	8	4	Z= 5.47	(*)
<i>Propagación de la luz</i>	51	PL-1	PL-6a	PL-1	PL-7	9	11	Z= 3.94	(*)
<i>Sombras</i>	51	S-1	S-5a	S-1b	S-5a	9	7	Z= 2.35	(*)
<i>Reflexión de la luz</i>	51	RL-1	RL-4	RL-1	RL-5	5	6	Z= 5.38	(*)
<i>Refracción de la luz</i>	51	FL-1	FL-4	FL-3	FL-6	6	7	Z= 5.97	(*)
<i>Mecanismo de visión</i>	51	V-1	V-4	V-1	V-5	6	8	Z= 3.94	(*)

Tabla 6.2

Se pueden apreciar dos tipos de modelos. Por un lado, "magnitudes ondulatorias", "naturaleza de la luz" o "refracción de la luz", en los que no aparecen esquemas de los primeros niveles en la prueba final y que suelen acompañarse de una reducción del número de categorías, al concentrarse en los más correctos científicamente.

En otros casos, como "propagación del sonido", "reflexión del sonido", "propagación de la luz", "reflexión de la luz" o "mecanismos de visión", siguen existiendo casos en las estructuras menos elaboradas (mucho más minoritarios en la prueba final), pero la evolución del conocimiento ha favorecido la ampliación en el número de categorías o niveles establecidos.

Los valores tan altos de Z no aconsejan resaltar en qué esquemas se producen las mayores diferencias; quizás, se podría decir que donde la evolución parece más baja es en los mecanismos de formación de las sombras, probablemente porque el nivel de partida era más adecuado que en otros tópicos.

En cualquier caso, los resultados de la columna correspondiente a la T de Wilcoxon no dejan lugar a dudas sobre la significación de las diferencias (señaladas con un "*"). En todos los modelos se producen evoluciones significativas que atribuimos a la variable independiente utilizada: el módulo de Ondas, Sonido y Luz.

C.6.2.2 Contraste inicial-final respecto a los contenidos actitudinales

Como hemos señalado reiteradamente, pensamos que el aprendizaje de las Ciencias debe contemplar los tres tipos de conocimientos: los que derivan de la estructura conceptual, los que emanan de sus métodos de trabajo y los

que surgen de lo que hemos denominado cultura científica. De estos tres ámbitos se seleccionaron los contenidos académicos que fueron objeto de nuestra intervención intencionada.

Para el estudio de las características de los dos primeros, hemos relatado dos aspectos fundamentales en la estrategia de la investigación: diseño de pruebas específicamente realizadas para este trabajo y diferentes ítems para la situación inicial y final. Sin embargo, en el campo de las actitudes hemos utilizado una escala validada en la literatura científica, se ha pasado tres veces a lo largo del curso y siempre se empleó el mismo instrumento.

Utilizar una estrategia distinta para el estudio de estas variables no supone una importancia diferente en el proceso de construcción del conocimiento. De hecho, a lo largo del mismo, se ha insistido tanto en las actitudes hacia la Ciencia y el trabajo de los científicos (no dogmatismo, provisionalidad de los hallazgos, controversias entre teorías, incorporación de los logros para mejorar la calidad de vida, etc.) como en las relacionadas con los procesos (rigor en las mediciones, honestidad, conclusiones coherentes con el proceso, argumentación para las afirmaciones,...).

Nuestra idea era plantear unas evaluaciones que utilizaran las preguntas habituales que se realizan en estos niveles educativos y no tuvimos problemas para entresacar cuestiones conceptuales y procedimentales de diferentes libros de texto; pero existe una gran dificultad para encontrar referencias que puedan ser útiles para la evaluación de actitudes. Por ello, acudimos a un instrumento estandarizado, con todas las ventajas e inconvenientes que esto conlleva.

Tampoco debemos ignorar que las modificaciones en este tipo de variables se producen más lentamente que en las anteriores. Esta fue la causa de que pasáramos la prueba en tres momentos diferentes: al comienzo del curso académico, antes de empezar el módulo y al final del mismo. Quizás, desde una perspectiva más ortodoxa, habría que considerar estos dos últimos como referentes principales del trabajo; sin embargo, nosotros hemos descrito en los capítulos 3 y 5 los resultados obtenidos en Octubre y Junio pues, en los módulos precedentes, también habíamos incidido de forma significativa en dichos contenidos.

Para averiguar si existían diferencias significativas entre los resultados, aplicamos como en los contrastes anteriores, el parámetro T de Wilcoxon. Los resultados aparecen en la Tabla 6.3.

Item		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Octubre</i>	Z	1.42	-1.33	-2.11	-2.20	-0.65	2.52	-2.84	-1.77	-0.83	1.34	1.52
<i>Marzo</i>	sig	ns	ns	0.04	0.02	ns	0.01	0.00	0.08	ns	ns	ns
<i>Marzo</i>	Z	0.13	-0.52	0.22	1.08	-0.02	0.85	0.14	-0.65	0.25	-0.62	-0.36
<i>Junio</i>	sig	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Octubre</i>	Z	1.67	-2.19	-2.26	-1.48	-0.59	2.82	-2.94	-2.81	-0.83	0.52	0.99
<i>Junio</i>	sig	0.10	0.03	0.02	ns	ns	0.01	0.00	0.01	ns	ns	ns

Tabla 6.3 (continúa)

Item		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
<i>Octubre</i>	Z	1.57	0.77	0.43	0.42	2.39	0.40	-0.55	-1.11	-1.53	-1.64	-
<i>Marzo</i>	sig	ns	ns	ns	ns	0.02	ns	ns	ns	ns	ns	2.50 0.01
<i>Marzo</i>	Z	1.72	1.47	0.70	-1.85	1.13	-1.02	-0.48	1.29	1.23	-0.56	-
<i>Junio</i>	sig	0.09	ns	ns	0.07	ns	ns	ns	ns	ns	ns	1.11 ns
<i>Octubre</i>	Z	2.69	2.50	0.61	-1.36	2.99	0.05	-0.91	0.07	-0.63	-2.76	-
<i>Junio</i>	sig	0.01	0.01	ns	ns	0.00	ns	ns	ns	ns	0.01	3.66 0.00

Tabla 6.3 (continúa)

Item		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Octubre	Z	-1.51	-0.07	-2.24	-2.19	-0.23	1.31	-1.09	-3.37	-0.74	-1.28
Marzo	sig	ns	ns	0.03	0.03	ns	ns	ns	0.00	ns	ns
Marzo	Z	2.39	1.59	-0.55	0.31	1.06	-0.90	-0.85	1.05	2.20	-0.65
Junio	sig	0.02	ns	0.03	ns						
Octubre	Z	0.88	1.85	-2.63	-2.59	0.52	0.39	-1.69	-2.53	1.01	-1.76
Junio	sig	ns	0.07	0.01	0.01	ns	ns	0.09	0.01	ns	0.08

Tabla 6.3 (continuación)

A la vista de los valores obtenidos, podemos realizar algunas matizaciones. En primer lugar, se observa que no hay diferencias significativas entre los resultados obtenidos antes del comienzo del módulo y una vez finalizado el mismo. De hecho, sólo en dos ítems (23 y 31) se producen dichas diferencias, si consideramos el nivel de significación $\alpha=0.05$; podríamos añadir los ítems 12 y 15 si ampliamos a $\alpha=0.10$. Esto refuerza la idea de que los cambios en las actitudes requieren periodos más largos.

Podría pensarse en modificaciones más "espectaculares" en intervalos cortos pero sólo, cuando se introducen elementos innovadores que rompen con una dinámica de trabajo. En nuestro caso, no es así pues recordemos que ha existido un periodo de acomodación donde es posible que se hayan producido las circunstancias a que hemos aludido. Parece, pues, más lógico pensar que, con la metodología ya asentada, la mayoría de las diferencias no son significativas.

Si consideramos el periodo Octubre-Marzo podemos observar, sin embargo, que se producen cambios en nueve ítems (3, 4, 6, 7, 16, 22, 25, 26 y 30) para el nivel de significación $\alpha=0.05$, a los que podríamos añadir el 8 si ampliamos hasta un $\alpha=0.10$. Esto pone de manifiesto que, en la fase de acomodación, la metodología ensayada ha producido modificaciones importantes en las creencias y concepciones que los alumnos tienen sobre la Ciencia y el trabajo de los científicos. Estas transformaciones se han producido, desde nuestra perspectiva, en la dirección adecuada, por lo que podemos considerar que han generado un aprendizaje en el ámbito objeto de estudio.

Esta situación tiene un gran valor si consideramos que las afirmaciones sobre las que debían posicionarse no han sido abordadas directamente en nuestra intervención y, por lo tanto, los nuevos posicionamientos no son fruto de una "aproximación malintencionada" a la respuesta que creen que espera el profesor. Algo se ha modificado y, desde luego, los resultados son reflejo inequívoco de ello.

Parece lógico hablar del contraste Octubre-Junio como elemento que más caracteriza la influencia de la intervención en el aula. Por un lado, porque, como hemos dicho, los contenidos actitudinales se han trabajado cíclicamente a lo largo del proceso y resulta coherente percibirlo como un todo (no exclusivamente limitado al módulo de Ondas). Por otro, porque las escasas diferencias entre Marzo y Junio proyectan la idea de una cierta persistencia en los logros obtenidos, lo cual resulta muy interesante y deseable, sobre todo, después del esfuerzo realizado.

En este último contraste, se producen diferencias significativas en 13 ítems (2, 3, 6, 7, 8, 12, 13, 16, 21, 22, 25, 26 y 30) para el nivel de significación $\alpha=0.05$, a los que podríamos añadir los ítems 1, 24, 29 y 32 si ampliamos hasta un $\alpha=0.10$. Estamos hablando, pues, de más de la mitad de las afirmaciones, con lo que creemos que se respalda la idea de un cambio profundo en los planteamientos iniciales.

Antes de terminar nos gustaría señalar aquellos ítems en los que no se han modificado las percepciones de forma significativa en ningún momento. Estos son el 5, 9, 10, 11, 14, 17, 18, 19, 20, 27 y 28; es decir, en menos del 30% de los casos. Pero, además, partían en muchos de ellos (no en todos) de planteamientos correctos y, por lo tanto, pensamos que no debían transformarse.

- no creían que la Religión, comparada con la Ciencia, ofreciera mejores soluciones sociales
- creían que una sociedad debe aceptar y alentar la Ciencia si quiere mejorar sus formas y condiciones de vida
- creían que el concepto que tiene el hombre sobre el Universo ha cambiado como resultado del progreso científico, etc.

Estos valores respaldan claramente la idea proyectada en otras hipótesis de que se han tocado fundamentos muy importantes del aprendizaje científico y que este fenómeno se manifiesta, incluso, cuando utilizamos pruebas que no inciden directamente en los contenidos de un módulo. Estamos hablando, en definitiva, de la valoración con un criterio externo que respalda otros resultados ya mencionados.

C.6.2.3 Conclusiones de la Subhipótesis Uno (SH.4.1)

Analizados los resultados obtenidos en los contrastes realizados entre las pruebas iniciales y finales de los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales, admitimos la SH.4.1 y señalamos que:

La aplicación de la metodología ensayada sobre las Ondas, el Sonido y la Luz produce diferencias significativas entre los resultados obtenidos inicialmente y al final de la intervención

C.6.3 RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA SH.4.2: RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES ESTUDIADAS

En la Subhipótesis anterior habíamos constatado la existencia de diferencias significativas entre los resultados iniciales y finales. No obstante, nos interesa estudiar si éstas se han producido homogéneamente en todos los alumnos, si dependen sólo de los conocimientos previos, si han intervenido otros factores,... En efecto, aunque sabemos que se han provocado cambios, podría interpretarse que el aprendizaje se ha realizado en bloque, de forma que aquél que tenía unas características iniciales más afortunadas ha obtenido mejores resultados; pero podría ocurrir que los nuevos conocimientos sean el origen de una heterogeneidad en los progresos y lógicamente haya sido mayor la influencia de otras variables,... Estos planteamientos no son antagónicos y presumiblemente podrían existir varios elementos los que estuvieran condicionando la evolución de los conocimientos de los alumnos, de ahí la importancia de incidir en el estudio de las relaciones entre variables.

C.6.3.1 Estudio de la incidencia de las características iniciales

En la literatura científica se insiste mucho, como pudimos ver en el apartado 1.3, en la importancia de los conocimientos previos de cara al aprendizaje. Sin duda, estos elementos son referentes obligados tanto para la docencia como para la investigación. Nosotros los hemos utilizado no sólo para diagnosticar cuáles eran las circunstancias de partida, sino que se ha usado la información para perfilar aspectos importantes de la propuesta y para que el alumno percibiera que tratábamos de trabajar con sus ideas.

Desde esta perspectiva, parece lógico "a priori" un estudio de las relaciones existentes entre los resultados de la prueba inicial y final, que nos aporte unos valores significativos. En efecto, aplicando el coeficiente ρ de Spearman a los valores globales de las pruebas iniciales de contenidos conceptuales y procedimentales y a los de la prueba final, obtenemos los resultados que aparecen en la Tabla 6.4.

Relación	Prueba inicial conceptual	Prueba inicial procedimental	Prueba inicial total
Prueba final	0.60	0.65	0.59
Significación	*	*	*

Tabla 6.4

Como puede comprobarse, los valores de ρ reflejan la relación significativa entre los resultados iniciales y finales, lo que pone de manifiesto la influencia de las ideas previas y la importancia que tienen en los valores que representan los conocimientos al término de nuestra intervención.

Sin embargo, podríamos pensar que los avances que provoca una intervención están muy predeterminados, sea cual sea la metodología ensayada, por el nivel inicial de los alumnos. En términos coloquiales diríamos que, si los estudiantes son "malos" los progresos en el aprendizaje son bajos y si son "buenos" los avances serán altos. Esto respaldaría la idea de una "cierta inutilidad" de innovar en la enseñanza, ya que presenta un carácter premonitorio.

Para discutir esta aseveración hay que introducir un nuevo algoritmo al que denominamos progreso. La definición es simple: si un alumno está en una situación A y evoluciona, tras la aplicación de la metodología ensayada, a una B, los efectos netos de la propuesta serán B-A. La variable así definida "pálfa" la influencia de unos conocimientos previos ajenos al módulo ensayado y que podrían justificar el "éxito" apreciado. Desde el punto de vista matemático, hablamos de diferencias de rendimientos en los totales de las pruebas correspondientes.

Establecemos, pues, una distinción entre las características finales (nivel al que han llegado los alumnos) y el progreso, como variable representativa de los efectos netos del módulo. Hemos visto la relación existente entre la primera y los conocimientos iniciales; pero, ¿existe una dependencia entre los resultados obtenidos y la nueva

variable?. Para dar respuesta a este interrogante hemos calculado el coeficiente ρ de Spearman que aparece en la Tabla 6.5.

	<i>Prueba inicial conceptual</i>	<i>Prueba inicial procedimental</i>	<i>Prueba inicial total</i>	<i>Prueba final</i>
<i>Progreso</i>	-0.11	0.04	-0.07	0.67
<i>Significación</i>	ns	ns	ns	*

Tabla 6.5

De estos resultados se desprenden dos conclusiones. Por un lado, los efectos netos de la metodología no están relacionados significativamente con las características iniciales. Por otro, hay una relación altamente significativa con el rendimiento en la prueba final. Es decir, existe una influencia de la propuesta innovadora, con independencia de los conocimientos que aporten los alumnos (como antes decíamos, que sean "buenos" o "malos"), que invita a pensar en la utilidad de investigar en nuevos planteamientos que mejoren la enseñanza.

En la misma línea que en otras subhipótesis, vamos a estudiar las relaciones entre los resultados iniciales y finales pero desde la perspectiva de los esquemas que, en su momento, se explicitaron. Esto nos va a permitir dimensionar la información y, en lugar de hablar en términos globales sobre el rendimiento, la desglosaremos en los diferentes ámbitos que ya se delimitaron. De esta manera, incidiremos en qué conocimientos se producen las relaciones significativas y, paralelamente a lo anterior, estudiaremos la influencia en la variable que hemos denominado progreso.

En la Tabla 6.6 aparecen los valores de la ρ de Spearman entre los esquemas iniciales y finales de los alumnos.

	<i>Magnit. Ondulat.</i>	<i>Propa. Sonido</i>	<i>Reflex. Sonido</i>	<i>Natura. Luz</i>	<i>Propa. Luz</i>	<i>Sombras</i>	<i>Reflex. Luz</i>	<i>Refracc. Luz</i>	<i>Visión</i>
ρ	0.35	0.15	0.23	0.20	0.40	0.55	0.13	0.42	0.09
<i>Signif</i>	*	ns	*	ns	*	*	ns	*	ns

Tabla 6.6

Como puede apreciarse si usamos un $\alpha=0.10$ ($\rho_{crit}=0.23$), el número de esquemas iniciales y finales relacionados es cinco, de nueve posibles. Es decir, existe una relación significativa entre los resultados que representan. No obstante, hay distintos niveles de correlación y sólo nos referiremos a los datos más relevantes.

Desde esta perspectiva, los esquemas que más se relacionan son los de las "Magnitudes Ondulatorias", "Propagación de la Luz", "Sombras" y "Refracción de la Luz"; y los que menos los de la "Reflexión de la Luz" y "Visión". Resulta difícil buscar una interpretación a esta situación pero podríamos señalar:

- a) hay una serie de conocimientos, que tienen tales dificultades en sí mismos, que la influencia de las ideas iniciales persiste después de la intervención, lo que constituye un componente importante en los resultados finales (Magnitudes Ondulatorias o Refracción de la Luz)
- b) otros conocimientos se encuentran con una situación más favorable y su desarrollo se ve un tanto limitado por el aparente éxito inicial; esto hace que la influencia de las ideas iniciales se manifieste de forma significativa (Sombras o Propagación de la Luz)
- c) por último, hay otros ámbitos del conocimiento donde la transformación es tan profunda que la situación final se aleja de la inicial; son situaciones en las que la asequibilidad y comprensibilidad de los nuevos contenidos hacen idóneo el cambio conceptual (Reflexión de la Luz o Visión)

En cualquier caso, estas afirmaciones las hacemos con bastante cautela pues no podemos olvidar que los aprendizajes de los alumnos en estos temas, antes de comenzar nuestra intervención, eran dispersos, poco estructurados y con bastantes errores conceptuales. Esto relativiza bastante la calidad de la información recogida y, aunque creemos que ocurre en mucha menor medida en los finales, siempre hay que ser prudentes con las conclusiones de unos datos de estas características.

Siguiendo el paralelismo apuntado con los estudios globales, cruzamos la variable progreso con los esquemas iniciales y finales obtenidos en las pruebas correspondientes. Las Tablas 6.7 y 6.8 recogen los valores de ρ de Spearman y la significación del mismo entre los esquemas y el progreso.

Prueba inicial									
Esquema	<i>Magnít. Ondulat.</i>	<i>Propa. Sonido</i>	<i>Reflex. Sonido</i>	<i>Natura. Luz</i>	<i>Propa. Luz</i>	<i>Sombras</i>	<i>Reflex. Luz</i>	<i>Refracc. Luz</i>	<i>Visión</i>
ρ	0.01	0.07	-0.02	-0.28	-0.22	-0.14	0.05	0.03	0.14
<i>Significación</i>	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns

Tabla 6.7

Prueba final									
Esquema	<i>Magnít. Ondulat.</i>	<i>Propa. Sonido</i>	<i>Reflex. Sonido</i>	<i>Natura. Luz</i>	<i>Propa. Luz</i>	<i>Sombras</i>	<i>Reflex. Luz</i>	<i>Refracc. Luz</i>	<i>Visión</i>
ρ	0.26	0.39	0.34	0.37	0.23	0.11	0.33	0.48	0.35
<i>Significación</i>	*	*	*	*	*	ns	*	*	*

Tabla 6.8

Se puede observar nuevamente que no existen relaciones significativas entre los esquemas iniciales y el progreso; curiosamente en el tópico donde podríamos admitirla, se obtienen valores negativos (relaciones inversas). En cualquier caso, se ratifica la situación anterior en la que insistimos en que los efectos netos no dependen de las características que tenían los alumnos y que no ha aportado nuestra intervención en el aula.

Sin embargo, también se repite que hay unas relaciones significativas en ocho de los esquemas finales y los progresos producidos en el aprendizaje a lo largo del proceso. Se obtienen valores muy similares para ρ , lo que nos permite profundizar en qué esquemas se relacionan de una "forma especial" con los efectos netos de la metodología.

A la vista de la discusión realizada, podemos afirmar que las características iniciales están relacionadas de forma significativa con las finales; que no condicionan los efectos netos de la metodología; y que los progresos están muy relacionados con la situación final, tanto a nivel de rendimiento global como en la mayoría de los esquemas.

C.6.3.2 Estudio de las relaciones entre los resultados de las actitudes

Como hemos señalado con anterioridad, además de los referentes aportados por los contenidos conceptuales y procedimentales, consideramos importante indagar en el tercer tipo de conocimiento: los actitudinales. Se había pasado tres veces (en Octubre, Marzo y Junio) una escala que respondía a momentos especialmente importantes: principio de curso, comienzo del módulo y final de la intervención en el aula.

En la descripción de los resultados del apartado 6.2.2, aludimos a que son variables cuya modificación exige periodos largos, a que habíamos incidido en su aprendizaje no sólo en esta parte de la asignatura... Por lo tanto, el

estudio de las relaciones pertinentes nos permite ratificar o no algunos de estos supuestos de la investigación.

Calculamos el ρ de Spearman entre cada trío de ítems y los resultados, en términos de significación o no, se recogen en la Tabla 6.9.

Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Octubre Marzo</i>	ns	*	ns	*	*	*	ns	ns	ns	*	*	*	*	ns	ns	*
<i>Marzo Junio</i>	*	ns	*	*	ns	*	*	*	*	*	*	*	ns	*	*	*
<i>Octubre Junio</i>	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	*	*	*	ns	ns	*	ns	ns	*

Item	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
<i>Octubre Marzo</i>	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	*	*						
<i>Marzo Junio</i>	*	*	*	ns	*	*	ns	*	ns	ns	*	*	ns	*	*	ns
<i>Octubre Junio</i>	ns	ns	ns	*	*	*	*	ns								

Tabla 6.9

Sin entrar en un análisis exhaustivo de los valores, pues posiblemente no aporten una información relevante, se ponen de manifiesto algunos hechos:

- a) sólo en 9 ítems de los 32 se producen relaciones no significativas, lo cual respalda la poca variación que se produce en las relaciones entre los resultados de Marzo-Junio (los cambios en las actitudes exigen periodos más largos)
- b) en la fase previa al desarrollo del módulo se han producido relaciones no significativas en 19 de los 32 ítems que proyectan la idea de un cambio profundo y que nosotros relacionamos con nuestra propuesta, como variable independiente del diseño realizado
- c) en el conjunto del curso, los cambios se producen en 21 ítems, donde las relaciones entre las pruebas pasadas al comienzo y al final de curso no son significativas

Por ello, se puede afirmar que se han modificado las actitudes en la forma en que dijimos en el apartado anterior pero, además, se han transformado las características iniciales, evolucionando hacia una dirección adecuada, pero sin condicionamientos externos al proceso mismo de construcción del conocimiento.

C.6.3.2 Estudio de la incidencia de los cuadernos de trabajo

Uno de los instrumentos más importantes de la propuesta didáctica fueron los cuadernos de trabajo donde los alumnos recogían la información que les facilitábamos, las discusiones y consensos alcanzados en el pequeño grupo, las experiencias realizadas... Configurado de esta manera, pensamos que era útil también desde una perspectiva investigadora pues, con algunas limitaciones lógicas en estudiantes con dificultades en la comunicación escrita, venía a representar el proceso de construcción del conocimiento.

Como ya dijimos, el nivel de implicación de los alumnos fue grande y ello nos permitió disponer de unos datos de gran calidad informativa para la evaluación del seguimiento de la puesta en práctica de la propuesta, tal como pudimos apreciar en el Capítulo 4. Allí se defendió que, para manejar de forma más asequible el volumen de respuestas, comentarios, acciones, afirmaciones,... de los implicados, era necesario cuantificar los rendimientos en cada una de las actividades, de acuerdo con unos criterios previamente establecidos.

Tomando como base esta cuantificación, nos pareció que la suma de puntuaciones obtenidas en cada actividad podía ser un valor numérico representativo del rendimiento globalmente considerado. No establecemos un isomorfismo numérico propiamente dicho pues el tratamiento estadístico que aplicamos es no paramétrico pero, de alguna forma, debíamos simplificar la información manejada. Una vez obtenidos los totales, vamos a cruzar los resultados globales conseguidos en cada parte (Ondas, Sonido y Luz) con algunos de los valores que representan otras variables estudiadas en las pruebas inicial y final, los esquemas, etc.

Dado que disponíamos de la información de los cuadernos de trabajo en cada una de las partes, nos parecía útil trabajar con los resultados de las pruebas inicial y final, separando los valores correspondientes a la parte de Ondas y Sonido de la de Luz. De esta forma, se introdujeron nuevas variables en el estudio cuantitativo; en la Tabla 6.10 aparecen sus valores más significativos

		Nº casos	Media	σ	Mín	Máx	Rend. medio	σ rendi.
<i>Prueba inicial</i>	<i>Ondas y Sonido</i>	51	8.82	6.36	0	24	16.97 %	12.23
	<i>Luz</i>	51	16.82	7.52	1	29	35.05 %	15.67
<i>Prueba final</i>	<i>Ondas y Sonido</i>	51	20.53	10.54	0	43	34.22 %	17.57
	<i>Luz</i>	51	23.37	10.13	1	46	41.74 %	18.09
<i>Progreso</i>	<i>Ondas y Sonido</i>	51					17.25 %	15.34
	<i>Luz</i>	51					6.69 %	16.46
T de Wilcoxon		$Z_{05} = 5.57$ $\alpha = 0.00$		$Z_{.1} = 2.56$ $\alpha = 0.01$				

Tabla 6.10

Como puede apreciarse, se ratifican las diferencias existentes entre los resultados iniciales y finales, lo cual resulta lógico si consideramos los valores obtenidos con los datos globales. No obstante, dentro de unos progresos ciertamente significativos, parecen sensiblemente menores en la parte correspondiente a la Luz. No sabríamos interpretar si esas diferencias son una consecuencia de los mejores resultados obtenidos por los alumnos antes del comienzo de la intervención o si, como dijimos, se deben a que la parte final de la propuesta fue desarrollada con "más prisas" de las deseadas. En cualquier caso, estamos hablando de Z muy altas y, en consecuencia, de diferencias muy significativas en ambas partes de las pruebas.

A partir de estos datos más atomizados, se estudiaron las relaciones existentes entre los resultados obtenidos en las pruebas inicial y final, y los representativos de cada parte del cuaderno de trabajo. Aplicando, como en casos anteriores la ρ de Spearman se obtuvieron los valores que aparecen en la Tabla 6.11.

Relación	<i>Prueba inicial</i>	<i>Prueba final</i>
<i>Cuadernos de trabajo Ondas/Prueba Ondas y Sonido</i>	0.53	0.47
<i>Cuadernos de trabajo Sonido/Prueba Ondas y Sonido</i>	0.52	0.48
<i>Cuadernos de trabajo Luz/Prueba Luz</i>	0.35	0.64
<i>Cuadernos de trabajo total/Total prueba</i>	0.46	0.63

Tabla 6.11

Como puede apreciarse todos los valores resultan significativos el nivel de $\alpha=0.05$, lo que pone de manifiesto dos hechos:

- a) existe una relación significativa entre los resultados obtenidos en la prueba inicial y los valores representativos de los cuadernos de trabajo
- b) existe una relación significativa entre los resultados obtenidos en la prueba final y los valores representativos de los cuadernos de trabajo

Ambas situaciones pueden tener una interpretación lógica. Por un lado, las características iniciales de los alumnos condicionan las respuestas dadas en las diferentes actividades realizadas. Si éstas son un fiel reflejo del proceso de construcción del conocimiento, resulta coherente que se perciba esta relación pues, en caso contrario, sería contradictorio que la introducción de la información provocara una "transformación fulminante" del colectivo completo, hecho que difícilmente se constata intuitivamente en la realidad por los profesores. Parece que la evolución de los aprendizajes es un proceso más gradual y secuenciado, y la propia tendencia decreciente de las relaciones en el tiempo (la relación prueba inicial/parte de la luz del cuaderno de trabajo es menor que en las otras partes) lo pone de manifiesto.

Por otro lado, la significación con la prueba final refuerza la idea de una relación sólida entre el proceso de seguimiento (estudiado en la HP.2) y la evaluación final (estudiada en la HP.3). Realmente sería bastante sorprendente un resultado contrario, pues podría interpretarse como que no hay relación entre hechos que están ligados, desde una perspectiva docente, en el tiempo o bien que los instrumentos de evaluación utilizados no reúnen las garantías de fiabilidad exigibles desde cualquier concepción investigadora. No es el caso y el estudio de correlaciones apoya numéricamente un aspecto que intuitivamente percibíamos. Como curiosidad comentaremos que el coeficiente va aumentando, posiblemente por la proximidad de la prueba final.

Como se ha hecho en otros estudios de relaciones entre variables, nos parece adecuado cruzar los datos obtenidos en los cuadernos de trabajo con los esquemas iniciales y finales que fueron señalados en otros momentos de nuestra investigación. De esta forma podemos profundizar, aún más, en el origen de las posibles relaciones existentes. Aplicando nuevamente el cálculo del coeficiente de Spearman entre estas variables, obtuvimos los resultados recogidos en las Tablas 6.12 y 6.13

Prueba inicial									
Esquema	Magnit. Ondulat.	Propa. Sonido	Reflex. Sonido	Natura. Luz	Propa. Luz	Sombras	Reflex. Luz	Refracc. Luz	Visión
ρ	0.36	0.36	0.43	-0.22	-0.07	0.07	0.14	0.28	0.19
Significación	*	*	*	ns	ns	ns	ns	*	ns

Tabla 6.12

Prueba final									
Esquema	Magnit. Ondulat.	Propa. Sonido	Reflex. Sonido	Natura. Luz	Propa. Luz	Sombras	Reflex. Luz	Refracc. Luz	Visión
ρ	0.39	0.17	0.34	0.55	0.34	0.28	0.46	0.55	0.41
Significación	*	ns	*	*	*	*	*	*	*

Tabla 6.13

Lógicamente los cálculos de ρ están realizados entre los esquemas que están implícitos en cada parte de los cuadernos de trabajo y los totales de rendimientos que los alumnos tienen en dicha parte, de manera que:

- la parte de las Ondas del cuaderno de trabajo se cruza con los esquemas de magnitudes ondulatorias
- la parte del Sonido del cuaderno de trabajo se cruza con los esquemas de la propagación del Sonido y de la reflexión del Sonido
- la parte de la Luz del cuaderno de trabajo se cruza con los esquemas de la naturaleza de la Luz, de la propagación de la Luz, de las sombras, de la reflexión de la Luz, de la refracción de la Luz y del mecanismo de visión

A la vista de los valores obtenidos podemos apreciar nuevamente una serie de circunstancias. En primer lugar, se vuelve a detectar que la relación entre las respuestas dadas en los cuadernos de trabajo y los resultados en la prueba inicial es significativa en los esquemas de Ondas y Sonido, mientras que los efectos de los correspondientes a la Luz no son significativos. Se vuelve a repetir el hecho de una tendencia a ir minimizando los efectos de las características previas a medida que se van desarrollando los contenidos objeto de enseñanza.

En segundo lugar, se observa un efecto contrario en las relaciones entre los cuadernos de trabajo y los esquemas de la prueba final. En ambos casos, la tendencia a mayores significaciones en función de la proximidad de la prueba parece que avala las interpretaciones que hemos dado en relación con el proceso de construcción del conocimiento.

Por último, se aprecia un número mayor de relaciones significativas con los resultados de las pruebas finales. Si profundizamos en qué hay detrás de ambos instrumentos de medición, parece razonable que la implicación de los alumnos en su proceso de aprendizaje y la relevancia del cuaderno de cara al mismo, se ponga de manifiesto de esta forma. La prueba final representa los conocimientos al terminar el proceso y el seguimiento de los cuadernos es un elemento que encarna posiblemente esos "pequeños logros", individuales y colectivos, que día a día van perfilando una evolución y, sobre todo, un desarrollo de las potencialidades inequívocas que tiene el ser humano.

Casi siempre en la investigación se piensa en los resultados finales y se obvia el proceso; desde nuestra perspectiva sobre la educación, la riqueza de la comunicación en el sistema aula es tan importante como los buenos resultados académicos y estos no interesan tanto si la metodología de aula sólo es una "caja negra" en la que todo cabe.

C.6.2.3 Conclusiones de la Subhipótesis Dos (SH.4.2)

A la vista de los estudios realizados sobre la incidencia de las características iniciales en los resultados finales, las relaciones entre las opciones elegidas por los alumnos en la prueba de actitudes y la influencia de los cuadernos de trabajo en otras variables del proceso, podemos admitir la SH.4.2 y decir que:

Existen relaciones significativas entre los resultados obtenidos en el aprendizaje final y las características iniciales de los alumnos y el trabajo desarrollado por estos a lo largo de nuestra intervención en el aula

C.6.4 RESULTADOS CORRESPONDIENTES A LA SH.4.3: CONTRASTE CON LA RETENCIÓN

A lo largo de la fundamentación de nuestro trabajo tuvimos la ocasión de incidir en la idea de que un aprendizaje significativo perdura en el tiempo. Obviamente, cualquier conocimiento que no se utiliza llega a olvidarse, por muy bien que se haya aprendido pero, para ello, es preciso que transcurra un periodo de tiempo suficientemente largo. Pensamos que unos problemas frecuentes en la enseñanza de las Ciencias suelen ser que los alumnos no establecen relaciones entre contenidos de diferentes lecciones, que se estudia para el examen inmediato, que la asignatura de un nivel no tiene mucho que ver con la de otro... En el fondo de estas situaciones estaría, entre otros elementos, la escasa retención de los aprendizajes.

En nuestra HP.3 tuvimos ocasión de estudiar qué había quedado de lo aprendido al cabo de nueve meses de nuestra intervención. Sin caer en una "euforia" poco científica y, desde luego, nada práctica, pudimos apreciar cualitativamente cómo muchos de los contenidos introducidos seguían siendo utilizados con bastante rigor; otros no lo eran, pero tampoco lo habían sido en su momento; algunos parecían que se habían olvidado... En cualquier caso, creemos que procede un estudio cuantitativo que contraste las diferencias existentes entre los resultados de las pruebas inicial y final, y los obtenidos en la de retención.

C.6.4.1 Contraste entre la retención, la evaluación inicial y la final

La prueba de retención fue elaborada a partir de la selección realizadas por 10 profesores sobre los ítems planteados en la prueba final; quedaron así fijadas 16 unidades de análisis que previamente habíamos utilizado en la evaluación del conocimiento generado una vez terminada la aplicación del módulo. Parece, pues, lógico tomar como referentes de nuestro contraste el rendimiento de los alumnos en dichos ítems. De esta manera, tendremos una nueva variable que denominaremos "Prueba final-retención" cuyos valores más representativos aparecen en la Tabla 6.14, junto con los de la prueba final que hemos utilizado hasta ahora.

	<i>Nº casos</i>	<i>Media</i>	σ	<i>Rendi. medio</i>	σ <i>rendim.</i>
<i>Prueba final-retención</i>	51	23.43	11.46	36.61 %	17.90
<i>Prueba final</i>	51	42.51	18.71	39.96 %	16.70

Tabla 6.14

Lógicamente la media disminuye puesto que el número de ítems es menor, pero no hay diferencias significativas en los rendimientos medios ($Z = 1.34$; $\alpha = 0.18$) y la correlación es estadísticamente muy significativa ($\rho_s = 0.95$). Por lo tanto, esta transformación de los resultados finales resulta más coherente como referente de contraste y sigue siendo un valor muy representativo de la situación final.

No obstante, habría que recordar que la prueba de retención no fue pasada a todos los alumnos y que la mortalidad estadística, lógica en este tipo de estudios, dejó reducida la muestra de referencia a 37, tal como apuntamos en el apartado 2.1. Desde esta perspectiva los resultados para el contraste serán los que aparecen en la Tabla 6.15 (obsérvese la denominación realizada para estos estudiantes).

	<i>Nº casos</i>	<i>Media</i>	σ	<i>Rendi. medio</i>	σ <i>rendi.</i>
<i>Prueba inicial (R)</i>	37	25.59	12.75	26.66 %	13.28
<i>Prueba final-retención (R)</i>	37	23.62	11.18	36.91 %	17.47
<i>Prueba retención</i>	37	21.46	9.90	33.53 %	15.46

Tabla 6.15

Realizadas, pues, las transformaciones pertinentes, estábamos en condiciones de realizar los diferentes contrastes que exige la subhipótesis. Aplicada la T de Wilcoxon, puesto que las muestras no son independientes, obtuvimos los valores de la Tabla 6.16.

	<i>Prueba inicial (R) - Prueba retención</i>	<i>Prueba inicial (R) - Prueba final (R)</i>	<i>Prueba final (R) - Prueba retención</i>
<i>Z</i>	3.68	3.94	-1.64
<i>Significación</i>	*	*	ns

Tabla 6.16

Como puede observarse, los progresos realizados en los rendimientos globales respecto a la prueba inicial, tanto de la final como de la de retención, son significativos estadísticamente (señalados con “*”, como en otras ocasiones); mientras que las pérdidas encontradas entre los rendimientos finales y los de retención, aunque existen, no son significativas. Ciertamente estos valores resultan muy satisfactorios para nuestra investigación y constituyen un aval importante para la validación de otras conclusiones encontradas.

Por último, realizamos un estudio de las relaciones existentes entre estas variables globales, mediante la ρ de Spearman y obtuvimos los resultados que aparecen en la Tabla 6.17.

	<i>Prueba inicial (R) - Prueba retención</i>	<i>Prueba inicial (R) - Prueba final (R)</i>	<i>Prueba final (R) - Prueba retención</i>
ρ	0.80	0.62	0.80
<i>Significación</i>	*	*	*

Tabla 6.17

Los valores reflejan relaciones muy significativas entre los resultados. Ciñéndonos al valor de ρ entre la prueba final y la de retención, parece indicarnos que las pérdidas han sido bastante uniformes, lo que obviamente refuerza la idea de un aprendizaje consolidado, que no ha sido fruto de una intervención que ocasionalmente ha sido rentable.

C.6.4.2 Conclusiones de la Subhipótesis Tres (SH.4.3)

A la vista de los resultados obtenidos en el contraste de resultados entre los rendimientos globales de las pruebas inicial, final y de retención, admitimos la SH.4.3 que decía:

Las pérdidas debidas al olvido, al cabo de un cierto tiempo de la puesta en práctica de la metodología de enseñanza de las Ondas, el Sonido y la Luz, no son significativas

C.6.5 CONCLUSIÓN DE LA HIPÓTESIS PRINCIPAL CUATRO

Analizados los resultados obtenidos en los contrastes realizados entre las pruebas iniciales y finales; teniendo en cuenta los estudios realizados sobre la incidencia de las características iniciales en los resultados finales, las relaciones entre las opciones elegidas por los alumnos en la prueba de actitudes y la influencia de los cuadernos de trabajo en otras variables del proceso; y a la vista de los resultados obtenidos en el contraste entre los rendimientos globales de las pruebas inicial, final y de retención, admitimos la Hipótesis Principal Cuatro, que decía:

Existen progresos significativos en el aprendizaje de las Ondas, el Sonido y la Luz con la metodología ensayada, estableciéndose relaciones significativas entre algunas de las variables estudiadas y no existiendo pérdidas significativas al cabo de un cierto tiempo desde nuestra intervención

CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo hemos tratado de presentar una experiencia real, donde hemos actuado como profesores y como investigadores. Parece que hay una tendencia a separar estos roles, pero nosotros creemos que la identificación de los problemas en la enseñanza de las Ciencias y la búsqueda de soluciones debe realizarse desde una proximidad real a la vida de las aulas. Este binomio docencia-investigación nos lleva a plantearnos permanentemente un gran número de cuestiones, inquietudes y reflexiones que lógicamente no pueden resolverse ni en un momento ni en un solo trabajo. En el apartado 1.1 tuvimos ocasión de exponer algunas de nuestras preocupaciones que dieron origen a los problemas objeto de esta Tesis Doctoral y que articulamos en torno a *cuatro interrogantes principales*:

- ¿son los conocimientos de los alumnos respecto a las Ondas, el Sonido y la Luz, suficientes y estructurados desde un punto de vista científico?
- la aplicación en el aula de una metodología específica, ¿favorece una evolución positiva de los conocimientos de los alumnos respecto a los contenidos objeto de enseñanza?, ¿cómo es valorado el proceso de aprendizaje por los estudiantes?
- ¿cómo son los conocimientos de los alumnos, respecto a las Ondas, el Sonido y la Luz, después de la aplicación de la metodología ensayada?, ¿qué queda de lo aprendido al cabo de un cierto tiempo?
- ¿hay progresos significativos en los conocimientos de los alumnos respecto a la situación inicial?, ¿son significativas las pérdidas en los aprendizajes?

Realizada una revisión de la literatura científica sobre las contribuciones que podían afectar a las respuestas a estas preguntas, establecimos nuestra hipótesis de trabajo y nuestra estrategia de resolución. En este sentido, diseñamos una fase de acomodación metodológica y un módulo de aprendizaje de las Ondas, Sonido y Luz, previamente fundamentado en un análisis de los contenidos científicos (conceptuales y procedimentales), en un estudio de la problemática didáctica de los mismos y en unos principios metodológicos de tipo constructivista. Ello dió como fruto una secuencia de enseñanza y unos materiales curriculares que, desde nuestra perspectiva, constituyen unas de las aportaciones más relevantes del trabajo.

Por otro lado, se planteó una estrategia experimental que pasaba por la elaboración de una serie de instrumentos de recogida de información, que tienen una gran importancia al estar muy vinculadas al proceso de construcción del conocimiento, pero permitiendo a la vez un análisis riguroso del mismo. Para el estudio de los datos recogidos, hemos acudido a técnicas descriptivas, cualitativas, cuantitativas y, cuando lo hemos necesitado, a los tratamientos estadísticos que demandaba nuestra investigación.

Tras la aplicación de nuestra metodología y de la estrategia de investigación, hemos llegado a las siguientes *conclusiones*:

- los alumnos objeto de nuestra investigación tenían *inicialmente unos conocimientos escasos, poco estructurados y erróneos*, tanto desde el punto de vista *conceptual como procedimental*, e impropios de estos niveles educativos, considerando que institucionalmente se habían abordado en cursos anteriores de la enseñanza obligatoria
- fue posible encontrar unos *esquemas conceptuales, sencillos, incompletos, erróneos*,... que los estudiantes utilizaban reiteradamente en sus respuestas a cuestiones que les planteábamos sobre hechos más o menos próximos relacionados con las magnitudes ondulatorias, la propagación y reflexión del sonido, la naturaleza, propagación, reflexión y refracción de la luz, la producción de sombras y el mecanismo de visión

- las *actitudes iniciales* que poseían sobre las Ciencias y el trabajo de los científicos estaban bastante alejadas de las que consideramos deseables y, en cualquier caso, contribuían a dar una imagen distorsionada de la realidad
- una vez fundamentada, diseñada y aplicada nuestra propuesta, percibimos unos cambios positivos en el *proceso de construcción del conocimiento que pudimos seguir a través de los cuadernos de trabajo de los propios alumnos*. El nivel de implicación de los estudiantes en su elaboración avaló una información que, de otro modo, hubiera sido bastante compleja de seguir
- hubo algunas actividades que no tuvieron un *efecto homogéneo* en la incidencia sobre los tres grupos con los que trabajamos durante la investigación. Pudimos confirmar, que las *heterogeneidades eran muy localizadas* y se justificaban por la propia dinámica de un proceso que no era una simulación controlada o de laboratorio. No obstante, en general, pudimos comprobar que nuestros materiales se podían adaptar a las singularidades propias del aula
- por otro lado, uno de nuestros logros más satisfactorios fue la *aceptación, implicación y valoración que los alumnos realizaron de la experiencia*. En este sentido, quisiéramos destacar que eran conscientes de que habían aprendido, lo cual es muy positivo en contextos académicos como en los que hemos trabajado
- los resultados al terminar nuestra intervención ponían de manifiesto una situación diferente a la inicial. No queremos parecer eufóricos pues somos especialmente críticos con lo que hacemos; pero creemos honestamente que *se habla logrado un buen nivel en los conocimientos* (conceptuales y procedimentales), aunque lógicamente les queda mucho por aprender en estos ámbitos
- volvimos a incidir en *los esquemas conceptuales* que utilizaban en sus respuestas y lógicamente *se ampliaron, se modificaron o se sustituyeron* como fruto del aprendizaje. La científicidad de estos esquemas era mayor y, en algunos casos, se llegaba a situaciones impensables al comienzo de nuestra experiencia
- también hubo una *modificación importante en las actitudes* hacia la Ciencia y el trabajo de los científicos. Aunque no incidíamos en algunos temas, ni en nuestra fase de acomodación metodológica ni en la experimental propiamente dicha, la influencia indirecta de otros contenidos actitudinales creemos que fue el origen de dichos cambios
- para ver qué es lo que quedaba de lo aprendido al cabo de nueve meses de la intervención, estudiamos la *retención de los aprendizajes*, percibiendo desde el principio que sí se mantenía dicho aprendizaje y de forma bastante estable, después de un periodo en el que no habían tenido contacto institucional con dichos contenidos
- los estudios realizados eran eminentemente descriptivos y nos pareció conveniente aplicar técnicas estadísticas con los datos cuantitativos. Así, encontramos *diferencias y relaciones significativas entre los resultados obtenidos antes del comienzo y al finalizar el módulo* (no sólo en los rendimientos globales sino en los esquemas a los que hicimos referencia anteriormente)
- también pudimos encontrar que una variable, que denominamos *progreso*, era independiente de las características iniciales de los alumnos, lo que estadísticamente respaldaba la idea de una *influencia real en el aprendizaje generado en los estudiantes*
- en el cruce de variables realizado con diversos valores obtenidos en la investigación, encontramos *relaciones significativas* muy interesantes con respecto a la información recogida en los *cuadernos de trabajo de los alumnos*
- por último, obtuvimos que los resultados del estudio de retención ponían de manifiesto unas *pérdidas* pero que estadísticamente *no eran significativas*. En cualquier caso, se habían producido diferencias respecto a la situación del partida, es decir, a los resultados obtenidos al comienzo de la experiencia
- quisimos estudiar las *características psicométricas* de las pruebas utilizadas. Al respecto

indagamos sobre la fiabilidad, dificultad de items, discriminación y validez, obteniendo, la mayoría de las veces, valores que están de acuerdo con lo exigible desde la literatura científica.

En definitiva, creemos que hemos desarrollado un trabajo interesante para nosotros, como profesores e investigadores, pero también para nuestros alumnos; posiblemente estos están detrás de muchas aportaciones porque se han sentido miembros activos de esta Tesis Doctoral. También de ellos, hemos aprendido...

BIBLIOGRAFÍA

- Abraham M.R. y Renner, J.W., 1986. The sequence of learning cycle activities in high school Chemistry, *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 121-143.
- Acevedo J., 1988. Las interpretaciones de los estudiantes de B.U.P. sobre electrocinética. Ejemplo con circuitos de corriente continua, *Investigación en la escuela*, 7, 107-116.
- Acevedo, J.A., 1989. Comprensión newtoniana de la caída de cuerpos. Un estudio de su evolución en el Bachillerato, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 241-246.
- Acevedo, J.A., 1990. La modelización como instrumento didáctico en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, *Investigación en la escuela*, 12, 81-82.
- Acevedo, J.A. et al., 1989. Sobre las concepciones en dinámica elemental de los adolescentes formales y concretos y el cambio metodológico, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 27-34.
- Aguirre, C., 1993. Investigación de la influencia de una metodología no directiva en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Química, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- Aguirre, I., 1985. Los adolescentes y el aprendizaje de las Ciencias, Editorial MEC, Madrid.
- Aikenhead, G.S., 1987. High School graduates' beliefs about Science-Technology-Society. III. Characteristics and limitations of scientific knowledge, *Science Education* 71 (4), 459-487.
- Aikenhead, G.S., 1988. An analysis of four ways of assessing student beliefs about STS topics, *Journal of Research in Science Teaching* 25 (8), 607-629.
- Aikenhead, G.S. et al., 1987. High School graduates' beliefs about Science-Technology-Society. I. Methods and issues in monitoring students views, *Science Education* 71 (2), 145-162.
- Aikenhead, G.S. y Ryan, A.G., 1992. The development of a new instrument: "views on Science-Technology-Society (VOSTS)", *Science Education* 76 (5), 477-492.
- Aliberas, J. et al., 1989. La didáctica de las ciencias: una empresa racional, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 277-284.
- Alonso, M. et al., 1992. Los exámenes de Física en la enseñanza por transmisión y en la enseñanza por investigación, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 127-138.
- Andrés, M.M., 1990. Evaluación de un plan instruccional dirigido hacia la evolución de las concepciones de los estudiantes acerca de circuitos eléctricos, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (3), 231-237.
- Arana, J. et al., 1987. Imagen de las asignaturas de ciencias en la transición de la educación básica a la secundaria, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), 10-15.
- Arruda, S.M. y Nardi, R., 1992. Planeamiento de curso a través de técnica de resolución de problemas, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 237-240.
- Atwater, M.M. y Alik, B., 1990. Cognitive development and problem solving of afroamerican students in chemistry, *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (2), 157-172.
- Azcárate, C. et al., 1988. Galileo Galilei. La nueva ciencia del movimiento, ICE, UAB.

- Ballenilla, F., 1992. El cambio de modelo didáctico, un proceso complejo, *Investigación en la escuela*, 18, 43-68.
- Barandiaran, J., 1988. El modelo de enseñanza-aprendizaje de las ciencias en la reforma de las enseñanzas medias, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 167-178.
- Barberá, O., 1990. Ajuste de ecuaciones químicas: ¿por qué usar reglas arbitrarias y hechos ficticios?, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), 85-88.
- Barberá, O., 1992. El papel que desempeñan las teorías en la Biología, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1), 32-36.
- Barberá, O. y Sanjosé, V., 1990. Juegos de simulación por ordenador: un útil para la enseñanza a todos los niveles, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), 46-51.
- Bardanca, M. et al., 1993. Evolución de los conceptos ácido-base a lo largo de la enseñanza media, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 125-129.
- Barral, F.M., 1990. ¿Cómo flotan los cuerpos que flotan?. Concepciones de los estudiantes, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (3), 244-250.
- Barrón, A., 1993. Aprendizaje por descubrimiento: principios y aplicaciones inadecuadas, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 3-11.
- Bascones, J., 1989. Instrucción para la transición cognoscitiva: el caso de la física, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), 120-125.
- Basili, P.A. y Sanford, 1991. Conceptual change strategies and cooperative group work in chemistry, *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (4), 293-304.
- Bastida, M.F. et al., 1990. Prácticas de laboratorio: ¿una inversión poco rentable?, *Investigación en la escuela*, 11, 77-92.
- Beléndez, A. et al., 1989. La enseñanza de los modelos sobre la naturaleza de la luz, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 271-275.
- Bell, B.F. y Pearson, 1992. Better learning, *International Journal of Science Education*, 14 (3), 349-361.
- Ben-Chaim, D. y Zoller, U., 1991. The STS outlook profiles of israeli high-school students and their teachers, *International Journal of Science Education*, 13 (4), 447-458.
- Blanco, A. et al., 1989. El poster como recurso didáctico desde una perspectiva de la enseñanza-aprendizaje, *Investigación en la escuela*, 9, 85-86.
- Blanco, F., 1990. Evaluación educativa. Editorial Cervantes, Salamanca.
- Borrut, J.M. et al., 1992. La meteorología en la enseñanza de las ciencias experimentales: una propuesta interdisciplinar e integradora, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 201-205.
- Boyer, R. y Tiberghien, A., 1989. Las finalidades de la enseñanza de la Física vistas por profesores y alumnos franceses, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 213-222.
- Braga, I.L., 1987. ¿Ingresan los alumnos a la Universidad con un adecuado desarrollo de los niveles de razonamiento?, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), 16-26.
- Brincones, I. et al., 1986. Identificación de comportamientos y características deseables del profesorado de ciencias experimentales del bachillerato, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (3), 209-222.
- Briscoe, C., 1991. The dynamic interations among belief, role metaphors and teaching practices. A case study of teacher change, *Science education*, 75 (2), 185-200.

- Brosseau, C., 1993. Dificultades de los estudiantes con el papel específico del campo eléctrico en la Óptica, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 184-187.
- Brosseau, C. y Viard, J., 1992. Quelques reflexions sur le concept d'entropie issues d'un enseignement de thermodynamique, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1), 13-16.
- Bueso, A. et al., 1988. Interpretación de las reacciones de oxidación-reducción por los estudiantes. Primeros resultados, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 244-250.
- Bullejos, J. y Sampedro, C., 1990. Diferenciación de los conceptos de masa, volumen y densidad en alumnos de BUP, mediante estrategias de cambio conceptual y metodológico, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), 31-36.
- Burbules, N.C. et Linn, M.C., 1991. Science Education and Philosophy of Science: congruence or contraction?, *International Journal of Science Education*, 13 (3), 241.
- Byrne, M., 1990. More effective practical work, *Education in Chemistry*, Ene., 12-13.
- Caamaño, A., 1988. Tendencias actuales en el currículo de Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 265-277.
- Caamaño, A., 1992. Los trabajos prácticos en ciencias experimentales, *Aula*, 9, 66-68.
- Caballer, M.J. et al., 1986. Establecimiento de las líneas de investigación prioritarias en la didáctica de las ciencias y las matemáticas, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 136-144.
- Calatayud, L., 1980. Trabajos prácticos de Física como pequeñas investigaciones. *Investigaciones didácticas*, I.C.E. Universidad de Valencia.
- Calvo de Mora, J. et al., 1993. La evaluación o el oficio del dialogo: una crítica a la evaluación oficial, *Investigación en la escuela*, 19, 39-56.
- Camacho, M. y Good, R., 1989. Problem solving and chemical equilibrium: successful versus unsuccessful performance, *Journal of Research of Science Teaching*, 26 (3), 251-272.
- Campbel, D. y Stanley, J., 1979. Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social, Editorial Amorrortu, Buenos Aires.
- Cañal, P. y Porlán, R., 1987. Investigando la realidad próxima: Un modelo didáctico alternativo, *Enseñanza de las Ciencias* 5 (2), 89-96.
- Cañal, P. et al., 1988. Bases para un programa de investigación en torno a un modelo didáctico de tipo sistémico e investigativo, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1), 54-60.
- Cañal, P., 1988. La entrevista, *Investigación en la escuela*, 4, 81-82.
- Cañal, P. et al., 1993. El lugar de las actividades en el diseño y desarrollo de la enseñanza: ¿cómo definir las y clasificarlas?, *Investigación en la escuela*, 19, 7-14.
- Caravita, S. et al., 1989. L'éducation a l'environnement en Italie dans le cadre des initiatives extra-scolaires des administrations locales et des associations, *Aster*, 9, Les Sciences hors de l'école.
- Carbonell, F. y Furió, C., 1987. Opiniones de los adolescentes respecto al cambio sustancial de las reacciones químicas, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), 3-9.
- del Carmen, L., 1987. La investigación en el aula: análisis de algunos aspectos metodológicos, *Investigación en la escuela*, 1, 51-56.
- del Carmen, L., 1990. La elaboración de proyectos curriculares de centro en el marco de un currículo de ciencias abierto, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), 37-45.

- Carrascosa, J. et al, 1991. La visión de los alumnos sobre lo que el profesorado de Ciencias ha de saber y saber hacer, *Investigación en la escuela*, 14, 45-62.
- Carrascosa J. y Gil, D., 1992. Concepciones alternativas en Mecánica, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3), 314-328.
- Casadella J. y Bibiloni, L., 1985. La construcción histórica del concepto de fuerza centrípeta en relación con las dificultades de su aprendizaje, *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3), 217-224.
- Castro, E.A., 1992. El empleo de modelos en la enseñanza de la Química, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1), 73-79.
- Catalán A. y Catany, M., 1986. Contra el mito de la neutralidad de la ciencia: el papel de la Historia, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 163-166.
- Cedric, J. et al., 1989. A study of tertiary physics students' conceptualizations of sound, *International Journal of Science Education*, 11 (special issue), 491-501.
- Cervantes, A., 1987. Los conceptos de calor y temperatura: una revisión bibliográfica, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), 66-70.
- Clark, C.M. y Peterson, P.L., 1990. Procesos de pensamiento de los docentes, en Wittrock, M.C. (ed.), *La investigación en la enseñanza*, III. Profesores y alumnos, Paidós, Barcelona.
- Clough, E.E. y Driver, R., 1986. A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts, *Science Education*, 70 (4), 437-496.
- Cobb, P. et al., 1991. Analogies from the Philosophy and Sociology of Science for understanding classroom life, *Science Education*, 75 (1), 23-44.
- Colombo, L. y Cudmani, C., 1988. Física básica: incidencia de la instrucción sobre los errores conceptuales, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 156-160.
- Colombo, L. y Fontdevilla, P.A., 1990. Concepciones previas en el aprendizaje significativo del electromagnetismo, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (3), 215-222.
- Colombo, L. et al., 1986. La realimentación en la evaluación en un curso de laboratorio de Física, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 122-128.
- Colombo, L. et al., 1991. La generación autónoma de "conflictos cognitivos" para favorecer cambios de paradigmas en el aprendizaje de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), 237-242.
- Coll, C. et al., 1987. La importancia de los contenidos en la enseñanza, *Investigación en la escuela*, 3, 19-28.
- Coll, C. et al., 1992. *Los contenidos en la Reforma*, Editorial Santillana, Madrid.
- Coll, C. et al., 1993. *El constructivismo en el aula*. Editorial Graó, Barcelona.
- Contreras, L.C., 1987. La resolución de problemas, ¿una panacea metodológica?, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), 49-52.
- Cronin, L., 1991. Science teaching beliefs and their influence on curriculum implementation: two cases studies, *Journal of Research in Science Teaching*, 38 (3), 235-250.
- Cubero, R., 1987. *Esquemas de conocimiento y cambio conceptual*, Universidad de Sevilla.
- Cubero, R., 1988. *Cómo trabajar con las ideas de los alumnos*, Diada Editores, Sevilla.
- Chalmers, A., 1982. *¿Qué es esa cosa llamada Ciencia?*, Editorial Siglo XXI, Madrid.
- Chastrette, M. y Franco, M. 1991. La reacción química: descripciones e interpretaciones de los alumnos de liceo,

Enseñanza de las Ciencias, 9 (3), 243-247.

Delgado, C., 1993. Acerca de los fundamentos metodológicos de la enseñanza de las ciencias experimentales, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 224-228.

Delval, J., 1983. *Crecer y pensar*. Cuadernos de pedagogía, Editorial Laia, Barcelona.

Domenech, A. et al., 1987. Introduction to the study of rolling friction. *American Journal of Physics*, 55, 231-235.

Domenech, A., 1992. El concepto de masa en la Física clásica: aspectos históricos y didácticos, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 223-228.

Dreyfus, A. et al., 1990. Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change. Some implications, difficulties, and problems, *Science Education*, 74 (5), 555-569.

Driver, R., 1988. Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 109-120.

Driver, R. et al., 1985. *Children's ideas in Science*, Open University: Milton Keynes, England.

Driver, R., et al, 1986. A constructivist approach to curriculum development in Science, *Studies in Science Education*, 13, 105-122.

Driver, R. et al., 1989. *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*, Editorial Morata/MEC, Madrid.

Driver, R. et al., 1990. Research on students' conceptions in Science: a bibliography, CLIS Research Group, Leeds.

Dumond, A., 1992. Formar a los estudiantes en el método experimental: ¿Utopía o problema superado?, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1), 25-31.

Dupin, J.J. y Joshua, S., 1990. Una analogía térmica para la enseñanza de la corriente continua en electricidad: descripción y evaluación, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), 119-126.

Duschl, R.A. y Gitomer, 1991. Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice, *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), 839-858.

Erickson, G. y Erickson, L., 1984. Females y science achievement: evidence and implications, *Science Education*, 68, 63-69.

Escámez, J., 1986. El marco teórico de las actitudes. El modelo de Fishbein y Ajzen, en la obra: *La enseñanza de actitudes y valores*, 29-50, Nau Llibres, Valencia.

Escudero, T., 1989. ¿Quién estudia Ciencia en nuestra Universidad?, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 45-52.

Espinosa, J. y Román, T., 1991. Actitudes hacia la Ciencia y asignaturas pendientes: dos factores que afectan al rendimiento en Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (2), 151-154.

Espinosa, J. y Román, T., 1995. Actitudes hacia la Ciencia a lo largo del BUP y COU: un estudio longitudinal, *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (2), 199-202.

Feher, E., 1990. Interactive museum exhibits as tools for learning: explorations with light, *International Journal of Science Education*, 12 (1), 35-49.

Feher, E. et al., 1988. Shadows and anti-images: Children's conceptions of light and vision. II, *Science Education*, 72 (5), 637-649.

Félix, J., 1994. Algunos defectos sistemáticos en la realización de problemas de Física, en alumnos de primer curso de Enseñanza Superior, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 448-451.

- Fensham, P.J., 1988. Approaches to the teaching of STS in science education, *International Journal of Science Education*, 10 (4), 346-356.
- Fernández, E., 1986. Reflexiones acerca del concepto de calor, *Enseñanza de las Ciencias* 4 (1), 91-92.
- Fernández, F. y Moreno, M.L., 1989. Educación Ambiental y diseño curricular, *Enseñanza de las Ciencias* 7 (1), 21-26.
- Fernández, J.M., 1985. Causas de las dificultades de aplicación del principio de Arquímedes por los alumnos de Enseñanza Media, *Enseñanza de las Ciencias* 3 (3), 185-187.
- Fernández, J.M., 1987. Estudio del grado de persistencia de ciertos preconceptos sobre la Estática de fluidos en alumnos del 2º curso de BUP, *Enseñanza de las Ciencias* 5 (1), 27-32.
- Fernández, L. et al., 1988. Ideas sobre los cambios de estado de agregación y las disoluciones en alumnos de 2º curso de BUP, *Enseñanza de las Ciencias* 6 (1), 42-46.
- Fetherstonhaugh, T. et al., 1992. Students' understanding of light and its properties: teaching to engender conceptual change, *Science Education*, 76 (6), 653-672.
- Fleming, R., 1987. High School graduates' beliefs about Science-Technology-Society. II. The interaction among science, technology and society, *Science Education*, 71 (2), 163-186.
- Fleming, R., 1988. Undergraduate science students' views on the relationship between Science-Technology-Society, *International Journal of Science Education*, 10 (4), 449-463.
- Fontes, M.A., 1990. Evaluación de valores y actitudes de los alumnos del curso secundario unificado. Un estudio en la disciplina de la Biología, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), 153-156.
- Fraser, B. y Tobin, K., 1989. Student perception's of psycho-social environment in classroom of exemplary science teachers, *International Journal of Science Education*, 11 (1), 19-34.
- Frey, K., 1989. Integrated science curriculum: 20 years on, *International Journal of Science Education*, 11 (1), 3-17.
- Furió, C., 1986. Metodologías utilizadas en la detección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la química, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 73-77.
- Furió, C., 1989. Selección bibliográfica sobre evaluación de prácticas de laboratorio, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), 187.
- Furió, C. y Gil, D., 1989. La didáctica de las Ciencias en la Formación inicial del profesorado, una orientación y un programa teóricamente fundamentados, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), 257-265.
- Furió, C. y Hernández, J., 1983. Ideas sobre los gases en alumnos de 10 a 15 años, *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (2), 83-91.
- Furió, C. y Ortiz, E., 1983. Persistencia de errores conceptuales en el equilibrio químico, *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (1), 9-14.
- Furió, C. et al., 1993. Concepciones de los estudiantes sobre una magnitud "olvidada" en la enseñanza de la Química: la cantidad de sustancia, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 107-114.
- Gabel, D. y Samuel, K.V., 1986. High school students ability to solve molarity problems and their analog counterparts, *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 167-176.
- Gabel, D. et al., 1987. Science education research interests of elementary teachers, *Journal of Research in Science Teaching*, 21, 843-851.
- Gagliardi, R., 1988. Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las*

- Ciencias, 6 (3), 291-296.
- Galache, M.I., et al., 1991. Origen histórico del término ión, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (2), 187-192.
- Galache, M.I. y Camacho, E., 1992. Un avance decisivo en el conocimiento de los iones: la teoría de Arrhenius de la disociación electrolítica, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3), 307-312.
- Galawovsky, L.R., 1993. Redes conceptuales: base teórica e implicaciones para el proceso de enseñanza-aprendizaje, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (3), 301-307.
- Galawovsky, L.R. y Ciliberti, N., 1994. Redes conceptuales: su aplicación como instrumento didáctico en temas de física, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 338-349.
- Gallastegui, J.R. y Lorenzo, F.M., 1993. "El café tiene cafeína y nos despierta, nos da energía": concepciones sobre la energía química, una buena razón para poner de acuerdo a los profesores de Física y Química y Ciencias Naturales, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 12-19.
- García, A. y Barrios, V., 1993. Evolución del conocimiento físico, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 115-124.
- García, A.R., 1988. Cómo construir aparatos eléctricos de medida a partir de objetos de chatarra. El galvanómetro, *Investigación en la escuela*, 6, 111-112.
- García, A.R., 1991. Cómo construir aparatos eléctricos de medida a partir de objetos de chatarra. El amperímetro y el voltímetro básicos de corriente continua, *Investigación en la escuela*, 14, 111-112.
- García, C.M., 1992. La historia de la Ciencia en la futura Enseñanza secundaria: reflexiones en torno al Diseño Curricular Base, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1), 115-118.
- García, J.E. y García, F., 1988. Aprender investigando. Una propuesta metodológica basada en la investigación, Diada Editores, Sevilla.
- García, J.E., 1988. Fundamentos para la construcción de un modelo sistémico del aula, *Constructivismo y Enseñanza de las Ciencias*, Diada Editores, Sevilla.
- García, J.L. y Rodríguez, C., 1985. Preconcepciones sobre el calor en 2º de BUP, *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3), 188-194.
- García, J.L. y Rodríguez, C., 1988. Ideas previas, esquemas alternativos, cambio conceptual y el trabajo en el aula, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 161-166.
- García, R. et al., 1992. Un acercamiento al papel de los contenidos procedimentales en la enseñanza de las ciencias, *Investigación en la escuela*, 17, 31-38.
- Garret, R.M., 1986. Problem-solving in science education, *Studies in Science Education*, 13, 70-95.
- Garret, R.M., 1987. Issues in science education: problem-solving, creativity and originality, *International Journal of Science Education*, 9 (2), 125-137.
- Garret, R.M., 1988. Resolución de problemas y creatividad: implicaciones para el currículo de ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 224-230.
- Geli, Ana M., 1988. Paradigmas contemporáneos de evaluación y su relación con la enseñanza de las ciencias, *Investigación en la escuela*, 5, 47-52.
- Gentil, C. et al., 1989. Nivel de apropiación de la idea de discontinuidad de la materia en alumnos de Bachillerato. Implicaciones didácticas, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), 126-131.
- Gil, D., 1986. La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 111-122.

- Gil, D., 1991. ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de Ciencias?, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 69-77.
- Gil, D., 1993. Contribución de la historia y de la filosofía de la ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 197-212.
- Gil, D., 1994. Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: realizaciones y perspectivas, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 154-164.
- Gil, D. y Martínez, J., 1987. La resolución de problemas de física: una didáctica alternativa, MEC y Vicens Vives.
- Gil, D. et al., 1987. Los programas-guía de actividades: Una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias, *Investigación en la escuela*, 3, 3-12.
- Gil, D. et al., 1988. El fracaso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 131-146.
- Gil, D. et al., 1988. La resolución de problemas de lápiz y papel como actividad de investigación, *Investigación en la escuela*, 6, 3-20.
- Gil, D. et al., 1991. La enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria, Cuadernos de Educación, ICE U. Barcelona/Horsori.
- Gilbert, S.W., 1991. Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (1), 73-79.
- Giordan, A., 1989. Representaciones sobre la utilización didáctica de las representaciones, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 53-62.
- Gisbert, M., 1985. Método de la resolución de problemas de Física y Química, *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3), 213-216.
- Goikoetxea, J., 1988. Interacción por parejas en el aula y sus efectos en el aprendizaje escolar. *Diseño experimental, Investigación en la escuela*, 5, 53-62.
- Gómez, M.A., 1994. Influencia de la EAO en el rendimiento y las ideas de los alumnos en Electricidad, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 355-360.
- Gómez, M.A. et al., 1992. La estructura de los conocimientos previos en Química: una propuesta de núcleos conceptuales, *Investigación en la escuela*, 18, 23-42.
- Gómez, S. et al., 1993. El modelo de Ausubel en la didáctica de la Física: una aproximación experimental al proceso de E/A de contenidos que presentan constructos poco elaborados por los aprendices, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (3), 235-246.
- González, E., 1992. ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos?, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 206-211.
- González, J., 1988. Célestin Freinet, un precursor de la investigación en la escuela. Aspectos generales de su didáctica, *Investigación en la escuela*, 6, 51-62.
- González, J., 1989. Célestin Freinet, un precursor de la investigación en la escuela. Las técnicas educativas y la organización del aprendizaje, *Investigación en la escuela*, 7, 49-68.
- Goñi, A., 1989. La comprensión de normas escolares, *Investigación en la escuela*, 9, 75-84.
- Good, R., 1984. Scientific problem solving by expert systems, *Journal of Research in Science Teaching*, 21, 331-340.
- Gorga, I. et al., 1989. Empleo del computador en la enseñanza del principio fundamental en la dinámica, *Enseñanza de las Ciencias* 7 (1), 105-106.

- Gruender, C.D. y Tobin, K.G., 1991. Promise and prospect, *Science Education*, 75 (1), 1-8.
- Grupo Álkali, 1990. Ideas de los alumnos acerca del mol, *Estudio curricular, Enseñanza de las Ciencias* 8 (2), 111-118.
- Grupo Axarquía, 1990. *Aprendizaje en Física y Química*, Editorial Elzevir, Granada.
- Grupo Recerca, 1980. *La corriente eléctrica*, Barcelona: ICE de la UAB.
- Guerra, J.M., 1984. Ciencia integrada en España: un análisis del curriculum, *Enseñanza de las Ciencias* 2 (3), 170-174.
- Guerrero, J.F., 1994. El laberinto reflexivo de la actividad didáctica y el eterno retorno del profesor sobre sus actos: los principios prácticos y el conocimiento en la acción, *Investigación en la escuela*, 22, 47-58.
- Gunstone, R.F. et al., 1993. A case study exploration of development in preservice science teachers, *Science Education*, 77 (1), 47-74.
- Gustavo, F., 1987. ¿Pueden interpretarse las preconcepciones a la luz de las teorías del aprendizaje?, *Enseñanza de las Ciencias* 5 (3), 231-234.
- Gutiérrez, F.A. y Rodríguez, L.M., 1987. El aprendizaje de la Física como investigación, un ejemplo de aplicación en la Enseñanza Media, *Enseñanza de las Ciencias* 5 (2), 135-144.
- Gutiérrez, R., 1987. Psicología y aprendizaje de las Ciencias. El modelo de Ausubel, *Enseñanza de las Ciencias* 5 (2), 118-128.
- Gutiérrez, R., 1989. Psicología y aprendizaje de las Ciencias. El modelo de Gagné, *Enseñanza de las Ciencias* 7 (2), 147-157.
- Hasan, O.E., 1985. An investigation into factors affecting attitudes toward science of secondary school students in Jordan, *Science Education*, 8 (3), 229-249.
- Hashweh, M.Z., 1986. Towards an explanation of conceptual change, *European Journal of Science Education*, 8, (3), 229-249.
- Hernández, F., 1989. El lugar de los procedimientos, *Cuadernos de Pedagogía*, 172, 60-64.
- Hernández, L., 1993. Tareas de planificación del módulo "la energía y los recursos energéticos" en el marco de la formación del profesorado, *Enseñanza de las Ciencias* 11 (3), 247-254.
- Herrán, C. y Parrilla, J.L., 1994. La utilización del ordenador en la realización de experiencias de laboratorio, *Enseñanza de las Ciencias* 12 (3), 393-399.
- Hewson, P.H., 1990. La enseñanza de "Fuerza y movimiento" como cambio conceptual, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), 157-172.
- Hewson, P.H. y Hewson, M., 1988. An appropriate conception of teaching science: a view from studies of science learning, *Science Education*, 72 (5), 597-614.
- Hewson, P.W. y Beeth, M.E., 1995. Enseñanza para un cambio conceptual: ejemplos de fuerza y movimiento, *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), 25-35.
- Hewson, P.W. y Hewson, M.G., 1987. Science teachers' conception of teaching: implications for teachers education, *International Journal of Science Education*, 9 (4), 425-440.
- Hierrezuelo, J., 1986. Revisión bibliográfica sobre la enseñanza de la energía, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (3), 266-268.

- Hierrezuelo, J., 1988. La influencia de las ideas previas en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Un ejemplo: la formación del concepto de fuerza en 2º de BUP, *Investigación en la escuela*, 4, 49-58.
- Hierrezuelo, J. y Molina E., 1988. Las tareas razonadas en ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1), 38-41.
- Hierrezuelo, J. y Molina, E., 1990. Una propuesta para la introducción del concepto de energía en el bachillerato, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), 23-30.
- Hierrezuelo, J. y Montero, A., 1988. *La ciencia de los alumnos*, Editorial Laia/MEC, Barcelona.
- Hierrezuelo, J. et al., 1987. Consideraciones sobre la enseñanza del calor en 2º de BUP, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), 81-83.
- Hills, G.L., 1989. Students "untotored" beliefs about natural phenomena: primitive science or commonsense?, *Science Education*, 73 (2), 155-186.
- Hodson, D., 1986. Philosophy of Science and Science Education, *Journal of Philosophy of Education*, 20 (2).
- Hodson, D., 1987. Social control as a factor in science curriculum change, *International Journal of Science Education*, 9 (5), 529-540.
- Hodson, D., 1988. Towards a phylosocally more valid science curriculum, *Science Education*, 72 (1), 19-40.
- Hodson, D., 1990. A critical look at practical work in school science, *School Science Review*, 70 (256), 33-40.
- Hodson, D., 1992. In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education, *International Journal of Science Education*, 14 (5), 541-562.
- Hodson, D. 1992. Assesment of practical work: some considerations in philosophy of science, *Science & Education* 1(2), 115-144.
- Hodson, D., 1993. Philosophic stance of secondary school sience teachers, curriculum experiences and children's understandings of science: some preliminary findings, *Interchange*, 24 (1-2) 41-52.
- Hodson, D., 1994. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 299-313.
- Iglesias, A. et al, 1990. Las interacciones entre estudiantes en el trabajo en grupos y la construcción del modelo corpuscular de la materia y el principio de conservación de la masa, *Investigación en la escuela*, 12, 57-68.
- Izquierdo, M., 1988. La contribució de la teoría del flogiste a l'estructuració actual de la ciència química. Implicacions didàctiques, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1), 67-74.
- Jiménez, M.P., 1991. Cambiando las ideas sobre el cambio biológico, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), 248-256.
- Jiménez, E. et al., 1994. Problemas de terminología en estudios realizados acerca de "lo que el alumno sabe" sobre ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 235-245.
- Joshua, S., 1986. La desintetización de los modelos físicos: una limitación y una posibilidad de elección, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 145-152.
- Juanes, J.A. et al., 1993. Técnicas de creación y manipulación de imágenes de estructuras orgánicas tridimensionales. Nuevos entornos de aplicación didáctica, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 188-196.
- Kelly, A., 1987. *Science for girls?*, Open University Press.
- Kempa, R.F., 1986. Resolución de problemas de Química y estructura cognoscitiva, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 99-110.

- Kempa, R.F., 1991. Students' learning difficulties in Science. Causes and possible remedies, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (2), 119-128.
- Kempa, R.F. y Nicholls, C., 1983. Problem solving ability and cognitive structure: an exploratory investigation, *European Journal of Science Education*, 5, 171-184.
- Kerlinger, F., 1981. Investigación del comportamiento. Técnicas y metodología, Editorial Interamericana, México.
- Klopfer, L., 1978. Evaluación del aprendizaje en Ciencia, en la obra: Evaluación del aprendizaje, pp 93-220, Troquel, Buenos Aires.
- Koballa, T.R., 1988. Attitude and related concepts in Science Education, *Science Education*, 72 (2), 115-126.
- Krajcik, J.S. y Penick, J.E., 1989. Evaluation of a model science teacher education program, *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (9), 795-810.
- Laburú, C.E. y Carvalho A.M.P., 1992. Investigación del desarrollo y aprendizaje de la noción de aceleración en adolescentes, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1), 63-72.
- Lahore, A.A., 1990. Una encuesta sobre el concepto de átomo en los estudiantes, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (3), 307.
- Lahore, A.A., 1991. Ideas previas erróneas acerca del concepto de masa, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), 307-308.
- Lakatos, I., 1983. La metodología de los programas de investigación científica, Alianza, Madrid.
- Lang, F. et al., 1992. Habilidad en preguntas conceptuales y en resolución de problemas de Física, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1), 58-62.
- Larking, J.H. y Rainard, B., 1984. A research methodology for studying how people think, *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (9), 795-810.
- Lawson, A.E., 1985. A review of research methodology for studying how people think, *Journal of Research in Science Teaching*, 21, 569-617.
- Lawson, A.E., 1994. Uso de ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 165-187.
- Layton, D. et al., 1986. Science for specific social purposes (SSSP): Perspectives on adult scientific literacy, *Studies in Science Education*, 13, 27-52.
- Lederman, N.G., 1986. Relating teaching behavior and classroom climate to changes in student' conceptions of the nature of science, *Science Education*, 70, 27-52.
- Linder, C.J., 1993. University physics students' conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation, *International Journal of Science Education*, 15 (1), 83-93.
- Linn, M.C., 1987. Establishing a research base for science education: challenges, trends, and recommendations, *Journal of Research Teaching*, 24 (3), 191-216.
- Lonning, R.A., 1993. Effect of cooperative learning strategies on student verbal interactions and achievement during conceptual change instruction in 10th grade general science, *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (9), 1087-1101.
- López, F., 1990. Epistemología y Didáctica de las Ciencias. Un análisis de segundo orden, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), 65-74.
- López, F., 1991. Análisis de la influencia de la construcción de mapas conceptuales sobre la estructura cognitiva de los estudiantes de física, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (2), 135-144.

- López F. et al., 1986. Pensamiento formal y rendimiento en Física. Análisis de la validez del test de Longeot por referencia a tests de rendimiento, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 36-44.
- López F. et al., 1987. Estudio mediante un "path-analysis" de la influencia de del aprendizaje en Física en el desarrollo del pensamiento formal, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (2), 129-134.
- López-Gay, R., 1987. Las representaciones de los alumnos como punto de partida. El caso de la energía, *Investigación en la escuela*, 3, 47-54.
- Lorenzo, F. y Gallastegui, J.R., 1989. Concepciones sobre la velocidad de una reacción química en alumnos de 2º curso de BUP, *Investigación en la escuela*, 9, 45-50.
- Lorsbach, A.W. et al., 1992. An interpretation of asesment methods in middle school science, *International Journal of Science Education*, 14 (3), 305-317.
- Loscertales, F., 1988. Motivación e introducción de una actividad, *Investigación en la escuela*, 7, 119-120.
- Loscertales, F., 1989. Técnicas de grupo en el aula. Motivadoras y de introducción. "Conferencia de prensa", *Investigación en la escuela*, 8, 79-80.
- Lucas, A.M., 1990. Varieties of Science Education Research: Their applications in the classroom, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (3), 205-214.
- Lucas, A.M. y García-Radeja, I., 1990. Contra las interpretaciones simplistas de los resultados de los experimentos realizados en el aula, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), 11-16.
- Luffiego, M. et al., 1994. Epistemología, caos y enseñanza de las Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (1), 89-96.
- Luna, M., 1989. El cuaderno de trabajo del alumno en ciencias experimentales, *Investigación en la escuela*, 8, 81-82.
- Lledó, A.I., et al., 1988. La interacción social entre los alumnos y el aprendizaje escolar: un ejemplo de diseño de intervención, *Investigación en la escuela*, 5, 65-66.
- Lledó, A.I. et al., 1993. El diseño y desarrollo de materiales curriculares en un modelo investigativo, *Investigación en la escuela*, 21, 9-20.
- Llitjós, A. et al., 1994. Elaboración y utilización de audiovisuales en la enseñanza de la química, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (1), 57-62.
- Llorens, J.A., 1988. La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje, *Investigación en la escuela*, 4, 33-48.
- Llorens, J.A. et al., 1987. El uso de la terminología científica en los alumnos que comienzan el estudio de la Química en la Enseñanza Media. Una propuesta metodológica para su análisis, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), 33-40.
- Llorens, J.A. et al., 1989. La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), 111-119.
- Marco, B., 1992. Historia de la Ciencia. Los científicos y sus descubrimientos, Editorial Narcea/MEC, Madrid.
- Marín, N., 1992. La devaluación de las nociones previas en la teoría piagetiana, *Investigación en la escuela*, 16, 23-38.
- Marín, N. y Jiménez, E., 1992. Problemas metodológicos en el tratamiento de las concepciones de los alumnos en el contexto de la Filosofía y la Historia de la Ciencia, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3), 335-339.
- Martín, A., 1988. Aproximación al proceso de emisión y verificación de hipótesis en niños de 10 y 11 años, *Investigación en la escuela*, 5, 39-46.

- Martín, A. et al., 1989. Experiencias de investigación-acción sobre el aprendizaje por descubrimiento de los circuitos eléctricos, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), 168-172.
- Martin, B. et al., 1990. Authentic science: a diversity of meanings, *Science Education*, 74 (5), 541-554.
- Martín, M.J. y Kempa, R.F., 1991. Los alumnos prefieren diferentes estrategias didácticas de la enseñanza de las Ciencias, en función de sus características motivacionales, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 59-68.
- Martín, M.T. et al., 1989. Circuitos eléctricos: problemas de aprendizaje, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 107-108.
- Martínez, M.M. et al., 1988. La formulación en el laboratorio. Un vídeo didáctico, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 315.
- Martínez-Jiménez, P. et al., 1994. Simulación mediante ordenador de movimientos bidimensionales en medios resistentes, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (1), 30-38.
- Mas, F. et al., 1991. Vídeos didácticos sobre Física y Química, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (2), 181-186.
- Massons, J. et al., 1993. Electrostática y EAO: una experiencia de simulación, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 179-183.
- Mata, A. y Anta, C., 1985. Evolución y nuevas tendencias en los trabajos sobre didáctica de las ciencias experimentales. Revisión del año 1984, *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3), 167-172.
- Mata, A. y Anta, C., 1986. Las orientaciones actuales de la didáctica de las ciencias experimentales en España (1985), *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (3), 233-246.
- Matras, J.J., 1987. El sonido, Ediciones Orbis, Barcelona.
- Matthews, M.R., 1994a. Vino viejo en botellas nuevas: un problema con la epistemología constructivista, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (1), 79-88.
- Matthews, M.R., 1994b. Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 255-278.
- Maurines, L., 1992. Los estudiantes y la propagación de las señales mecánicas: dificultades de una situación de varias variables y procedimientos de simplificación, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1), 49-57.
- Maurines, L., 1992. Spontaneous reasoning on the propagation of visible mechanical signals, *International Journal of Science Education*, 14 (3), 279-293.
- McFadden, C.P., 1991. Towards an STS school curriculum, *Science Education*, 75 (4), 457-470.
- McIntosh, J. y Zeidler, D., 1988. Teachers' conceptions of the contemporary goals of science education, *Journal of Research in Science Teaching*, 25 (2), 93-102.
- M.E.C., 1989. Diseño Curricular Base de Enseñanza Primaria, Madrid.
- M.E.C., 1989. Diseño Curricular Base de Enseñanza Secundaria, Madrid.
- M.E.C., 1991. Bachillerato, estructura y contenidos, Madrid.
- M.E.C., 1992. Real decreto por el que se establece el currículo de E.S.O., Madrid.
- Meheut, M. et al., 1988. Modelos de partículas en la iniciación a las ciencias físicas, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 231-238.
- Mellado, V. y Carracedo, D., 1993. Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (3), 324-330.

- Meneses, J.A. y Caballero, M.C., 1995. Secuencia de enseñanza sobre el electromagnetismo, *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), 36-45.
- Michinel, J.L. y D'Alessandro, A., 1994. El concepto de energía en los libros de texto: de las preconcepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 369-380.
- de Miguel, L. et al., 1993. Ondas, sonido y ruido, sugerencias curriculares, Universidad de Zaragoza.
- Miguens, M. y Garret, R.M., 1991. Prácticas en la enseñanza de las ciencias. Problemas y posibilidades, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), 229-236.
- Millar, R. y Driver, R., 1987. Beyond processes, *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- Millar, R. et al., 1988. Public understanding of science: from contents to processes, *International Journal of Science Education*, 10 (4), 388-398.
- Miró, E. y Llitjós, A., 1991. Enseñanza-Aprendizaje de los conceptos: sustancia pura y mezcla, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (2), 211-212.
- Mohapatra, J.K., 1988. Induced in incorrect generalizations leading to misconceptions. An exploratory investigation about the laws of reflection of light, *Journal of research in science teaching*, 25 (9), 777-784.
- Mondelo, M. et al., 1994. Materia inerte/Materia viva ¿tienen ambas constitución atómica?, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 226-234.
- Monk, M. 1991. Genetic epistemological notes on recent research into children's understanding of light, *International Journal of Science Education*, 13 (3), 255-270.
- de Moran, J.A. et al., 1995. Motivaciones hacia la química, *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), 66-71.
- Moreira, M.A., 1990. Un mapa conceitual para interacciones fundamentais, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), 133-139.
- Moreira, M.A. y Novak, J.D., 1988. Investigación en enseñanza de las ciencias en la Universidad de Cornell: esquemas teóricos, cuestiones centrales y abordajes metodológicos, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1), 3-18.
- Neto, A.J., 1991. Factores psicológicos de insucesso na resolução de problemas de física: uma amostra significativa, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), 275-280.
- Niaz, M., 1987. Estilo cognoscitivo y su importancia para la enseñanza de la ciencia, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (2), 97-104.
- Niaz, M., 1994. Más allá del positivismo: una interpretación lakatosiana de la enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (1), 97-100.
- Nieda, J. et al., 1985. El uso de los mapas conceptuales en la corrección de preguntas abiertas en Biología, *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 91-95.
- Novak, J.D., 1982. Teoría y práctica de la educación, Alianza Editorial, Madrid.
- Novak, J.D., 1987. Human constructivism: Toward a unity of psychological and epistemological meaning making. *Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics Education*, Ithaca, NY.
- Novak, J.D., 1988. Constructivismo humano: un consenso emergente, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 213-223.
- Novak, J.D., 1991. Ayudar a los alumnos a aprender cómo aprender, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), 215-228.
- Novak, J.D. y Gowin, D.B., 1988. Aprendiendo a aprender, Ediciones Martínez Roca, Barcelona.

- Nussbaum, J., 1989. Classroom conceptual change: philosophical perspectives, *International Journal of Science Education*, II, special issue, 530-540.
- Olivieri, G. et al., 1988. Coulored shadows, *International Journal of Science Education*, 10 (5), 561-569.
- Oñorbe A. y Sánchez, J.M., 1992. La masa no se crea ni se destruye. ¿Estáis seguros?, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3), 165-171.
- Ortega, P., 1986. El marco teórico de las actitudes, en la obra: *La enseñanza de actitudes y valores*, 51-60, Nau Llibres, Valencia.
- Ortega, P. et al., 1992. Diseño y aplicación de una escala de actitudes hacia el estudio de las Ciencias Experimentales, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3), 295-303.
- Ortega, R., 1990. El grupo aula como un sistema de relaciones socioafectivas, *Investigación en la escuela*, 10, 51-60.
- Osborne, J.F. et al., 1993. Young children's (7-11) ideas about light and their development, *International Journal of Science Education*, 15 (1), 83-93.
- Osborne, P. y Freyberg, 1991. *El aprendizaje de las Ciencias. Implicaciones de la ciencia de los alumnos*, Narcea S.A. de ediciones, Madrid.
- Osborne, R.J. y Wittrock, M.C., 1985. The generative learning model and its implications for science education, *Studies in science education*, 12, 59-87.
- Otero, J., 1989. La producción y la comprensión de la Ciencia: la elaboración en el aprendizaje de la ciencia escolar, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 223-228.
- Otero, J., 1990. Variables cognitivas y metacognitivas en la comprensión de textos científicos: el papel de los esquemas y el control de la propia comprensión, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), 17-22.
- Pacca, J.L.A. y Saraiva, J.A.F., 1989. Causalidad y operaciones en la interpretación de las concepciones espontaneas, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 266-270.
- Palacios, C. et al., 1987. Dos metodologías activas comparadas en el estudio de conceptos químicos en 8º de EGB, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (3), 220-224.
- Palacios, C. et al., 1989. Procesos de la ciencia y desarrollo cognitivo en bachillerato, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), 132-140.
- Pastor, J.M., 1987. La investigación didáctica sobre los trabajos prácticos: una selección bibliográfica (1980-1985), *Enseñanza de las Ciencias*, 5, 262.
- Payá, J., 1990. Los trabajos prácticos de física y química: una revisión bibliográfica, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), 181-185.
- Pennick, J. y Yager, R.E., 1986. Trends in Science Education: some observations of exemplary programmes in the USA, *European Journal of Science Education*, 8, 1-8.
- Perales, F.J., 1987. Análisis de contenidos en óptica geométrica, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (3), 211-219.
- Perales, F.J., 1993. La resolución de problemas: una revisión estructurada, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 170-178.
- Perales, F.J., 1994. Los trabajos prácticos y la didáctica de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (1), 122-125.
- Perales F.J. y Cervantes, A., 1984. Influencia del conocimiento del resultado numérico en la resolución de problemas, *Enseñanza de las Ciencias*, 2 (2), 97-102.

- Perales F.J. y Nievas, F., 1988. Nociones de los alumnos sobre conceptos de óptica geométrica, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (1), 86-88.
- Perales, F.J. y Nievas, F., 1991. Ideas previas en óptica geométrica: un estudio descriptivo, *Investigación en la escuela*, 13, 77-84.
- Perales, F.J. et al., 1989. Misconceptions on geometric optics and their association with relevant educational variables, *International Journal of Science Education*, 11 (3), 273-286.
- Pérez, M.C. y Rubio, F., 1986. Diseño, realización y evaluación de un método de descubrimiento dirigido para la enseñanza de la física a nivel de 2º de BUP, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 78-79.
- Pérez-Landazabal, M.C. et al., 1995. La energía como núcleo en el diseño curricular de la física, *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), 55-65.
- Pessoa, A.M. et al., 1991. Síntesis evolutiva de investigaciones en enseñanza de las ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (2), 169-174.
- Pessoa, A.M. y Castro, R.S., 1992. La historia de la ciencia como herramienta para la enseñanza de física en secundaria: un ejemplo en calor y temperatura, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3), 289-294.
- Polo, F. y López, J.A., 1987. Los científicos y sus actitudes políticas ante los problemas de nuestro tiempo, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (2), 149-156.
- Pomar, J., 1991. La metodología de resolución de problemas y el desarrollo de cognitivo: un punto de vista postpiagetiano, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 78-82.
- Pontes, A., 1989. La renovación didáctica de la enseñanza experimental, *Cuadernos de Pedagogía*, nº 176, 45-47.
- Pope, M. et al., 1983. Personal Experience an the construction of knowledge in Science, *Science Education*, 67 (2), 193-203.
- Pope, M.L. y Scott, E.M., 1983. Teachers' epistemology and practice. Teacher thinking: a new perspective on persisting problems in education; Lise, Swets and Zeitlinger, Holland.
- Porlán, R., 1987. El diario del profesor, *Investigación en la escuela*, 2, 77-78.
- Porlán, R., 1990. Hacia una fundamentación epistemológica de la enseñanza, *Investigación en la escuela*, 10, 3-22.
- Porlán, R. 1994. Constructivismo y escuela, hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación, Diada Editora, Sevilla.
- de Posada, J.M., 1993. Las concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia en el estado sólido, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 12-19.
- de Posada, J.M. y Prieto, T., 1990. Exploraciones gráficas de ideas extraescolares de los alumnos sobre radioactividad, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), 127-132.
- Pozo, J.A. et al., 1991. Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: un punto de vista postpiagetiano, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 83-94.
- Pozo, J.I., 1987. Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal, *Visor Aprendizaje*, Madrid.
- Pozo, J.I., 1992. El aprendizaje y la enseñanza de hechos y conceptos, en Coll, C., Palacios, J., y Marchesi, A. (eds), *Desarrollo psicológico y educación II. Psicología de la Educación*, Editorial Alianza, Madrid.
- Prieto, T., 1989. Aplicación del desarrollo histórico y del paradigma de enseñanza por investigación en el tratamiento de algunos temas teóricos, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 106.

- de Pro, A., 1995. Reflexiones para la selección de contenidos procedimentales en Ciencias, *Alambique*, 6, 77-87.
- Proper, H. et al., 1988. World view projected by science teachers; a study of classroom dialogue, *Science Education*, 72 (5), 547-560.
- Puey, L., 1992. Alternativas a la introducción de conceptos de óptica en BUP y COU, Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza.
- Quílez, J. y Llopis, R., 1990. Importancia de la Química descriptiva en la enseñanza de la Química. Propuesta de un modelo para su aprendizaje, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (3), 282-286.
- Quílez, J. y Sanjosé, V., 1995. Errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico: nuevas aportaciones relacionadas con la incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier, *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), 72-80.
- Quílez, J. et al., 1993. La necesidad de un cambio metodológico en la enseñanza del equilibrio químico: limitaciones del principio de Le Chatelier, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (3), 281-288.
- Raviolo, A. y Andrade, J., 1994. Curso de ingreso en química a la universidad: un espacio de revisión y aprendizaje conceptual, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 361-368.
- Rivero, F., 1989. Interpretación física de la gráfica v-t de un móvil, *Investigación en la escuela*, 8, 83-84.
- Rodríguez, L.M. et al., 1992. Una propuesta integral de evaluación en Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3), 254-267.
- Rosenthal, D.B., 1989. Two approaches to science-technology-society (S-T-S) education, *Science Education*, 73 (5), 581-589.
- Rousseau, P., 1986. *La luz*, Ediciones Orbis, Barcelona.
- Rowell, J.A., et al., 1989. Towards an integrated theory and practice for science teaching, *Studies in Science Education*, 16, 47-73.
- Rubén, E. y Andrade, J.J., 1990. La utilidad de las analogías en la enseñanza de las ciencias en base a una posible clasificación, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), 89-91.
- Ruiz, J., et al., 1991. Investigación de las ideas de los alumnos de Enseñanza Secundaria sobre la corriente eléctrica, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (2), 155-162.
- Ryan, A.G., 1987. High School graduates' beliefs about Science-Technology-Society. IV. The characteristics of scientists, *Science Education*, 71 (4), 489-510.
- Ryan, A.G., 1990. "Plus ça change": Los efectos de la región, número de asignaturas de ciencias cursadas y sexo sobre la opinión de los estudiantes canadienses en cuestiones de Ciencia, Técnica y Sociedad; *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), 3-10.
- Sáez, M.J., 1990. El reto de un cambio insoslayable. La formación del profesorado de ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), 144-152.
- Sahuquillo, E. et al., 1993. Un currículo de Ciencias equilibrado desde la perspectiva de género, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 51-58.
- Saltiel, E., 1991. Un ejemplo de aportación de didáctica de la Física a la enseñanza: los ejercicios cualitativos y los razonamientos funcionales, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), 257-262.
- Saltiel, E. y Viennot, L., 1985. ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?, *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 137-144.

- Sánchez, G. y Valcárcel, M.V., 1993. Diseño de unidades didácticas en el área de Ciencias Experimentales, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 33-44.
- Sánchez, J.L., 1993. Detección de las ideas previas en cinemática utilizando la composición de movimientos, *Investigación en la escuela*, 19, 105-118.
- Sánchez, J.M., 1988. Usos y abusos de la Historia de la Física en la enseñanza, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 179-188.
- Sanjosé, V. et al., 1989. Una experiencia de Educación Ambiental desde los currícula educativos, *Investigación en la escuela*, 7, 91-106.
- Sanmartí, N. y Casadella, J., 1987. L'ensenyament del concepte de força i especialment del de força de gravetat, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (1), 53-58.
- Sanmartí, N. et al., 1990. Los procedimientos en el Área de Ciencias de la Naturaleza, *Cuadernos de Pedagogía*, 180, 28-32.
- Sarabia, B., 1992. El aprendizaje y la enseñanza de las actitudes, en Coll, C., Palacios, J., y Marchesi, A. (eds), *Desarrollo psicológico y educación II. Psicología de la Educación*, Editorial Alianza, Madrid.
- Satterly, D. et al., 1988. Los exámenes referidos al criterio y al concepto en ciencias: un nuevo sistema de evaluación, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 278-284.
- Saura J.P. et al., 1989. Una aplicación de las STRs (Scienced Reasoning Task): Análisis de la relación entre el nivel cognitivo y el rendimiento escolar en 8º de EGB, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 247-250.
- Saxena, A.B., 1991. The understanding of properties of light by students in India, *International Journal of Science Education*, 13 (3), 283-289.
- Schibecchi, R.A., 1986. Images of science and scientists and science education, *Science Education*, 70 (2), 139-149.
- Schibecchi, R.A. y Riley, J.P., 1986. Influence of students background and perceptions on science attitudes and achievement, *Journal of Research in Science Teaching*, 23 (3), 177-187.
- Sebastiá, J.M., 1984. Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes, *Enseñanza de las Ciencias*, 2 (3), 161-170.
- Sebastiá, J.M., 1987. ¿Qué se pretende en los laboratorios de física universitaria?, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (3), 196-204.
- Sebastiá, J.M., 1989. Constructivismo: un marco teórico problemático, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), 158-161.
- Sebastiá, J.M., 1993. ¿Cuál brilla más?: predicciones y reflexiones acerca del brillo de las bombillas, *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 45-50.
- Segura, D., 1991. Una premisa para el cambio conceptual: el cambio metodológico, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (2), 175-180.
- Segura, D.J. y Molina, 1991. Las Ciencias Naturales en la escuela, *Investigación en la escuela*, 14, 19-36.
- Seminari de Física y Química, 1988. La construcción de las Ciencias Físico-Químicas, *Nau Llibres*, Universidad de Valencia.
- Seminario permanente de Física y Química "Vegas Altas del Guadiana", 1987. Método activo en química de COU. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (3), 225-230.
- Seminario permanente de Física y Química "Vegas Altas del Guadiana", 1992. Cuadernos audiovisuales de laboratorio: hacia una mejora de la enseñanza de la química, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3), 304-306.

- Seoane, P., 1991. Introducción a la química orgánica: un enfoque curricular, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), 263-267.
- Sequeira, M. y Leite, L., 1991. Alternative conceptions and history of science in physics teacher education, *Science Education*, 75 (1), 45-56.
- Sequeiros, L. et al., 1992. Evolución y persistencia de las representaciones mentales: La creación del mundo y el origen del hombre, *Investigación en la escuela*, 16, 39-48.
- Serrano, T., 1988. Actitudes de los alumnos y aprendizaje de las Ciencias. Un estudio longitudinal, *Investigación en la escuela*, 5, 29-38.
- Sevilla, C., 1986. Reflexiones en torno al concepto de energía. Implicaciones curriculares, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (3), 247-253.
- Sevilla, C., 1994. Los procedimientos en el aprendizaje de la física, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 400-405.
- Shapiro, G., 1981. *Física sin Matemáticas*. Editorial Alhambra, Madrid.
- Shapiro, B.L., 1989. What children bring to light?: giving high status to learners' views and actions in science, *Science Education*, 73 (6), 711-733.
- Shayer, M. y Addey, P., 1984. *La Ciencia de enseñar Ciencias*, Ediciones Narcea, Madrid.
- Sigüenza, A.F. y Sáez, M.J., 1990. Análisis de la resolución de problemas como estrategia de enseñanza de la biología, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (3), 223-230.
- Simpson, R. y Oliver, S., 1990. A summary of major influences on attitude toward and achievement in science among adolescent students, *Science Education*, 74 (1), 1-18.
- Singh A. et al., 1990. Refraccion: conceptions and knowledge structure, *International Journal of Science Education*, 12 (4), 429-442.
- Solbes, J. y Vilches, A., 1987. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (2), 169-170.
- Solbes, J. y Vilches, A., 1989. Interacciones ciencia/técnica/sociedad: un instrumento de cambio actitudinal, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 14-20.
- Solbes, J. y Vilches, A., 1992. El modelo constructivista y las relaciones Ciencia/Técnica/Sociedad (C/T/S), *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 181-186.
- Soler, J.B., 1986. La actitud de los alumnos hacia la ciencia y su enseñanza, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2), 174-175.
- Solomon, J., 1986. When should we start teaching physics?, *Physics Education*, 21, 152-154.
- Solomon, J., 1987. Social Influences on the construction of pupils' understanding of science, *Studies in Science Education*, 14, 63-82.
- Solomon, J., 1988. Learning trough experiment, *Studies in Science Education*, 15, 103-108.
- Solomon, J., 1988. Una perspectiva social de los esquemas conceptuales, *Investigación en la escuela*, 5, 17-20.
- Solomon, J., 1988. Science, Technology and Society courses: tools for thinking about social issues, *International Journal of Science Education*, 10 (4), 379-387.
- Stewart, B., 1989. Merging scientific writing with the investigative laboratory, *Journal of College Science Teaching*, Nov., 94-95.

- Susi, E., 1994. Ciencia y género: autoridad y medida en la enseñanza, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 200-205.
- Swain, J.L., 1988. Assessing chemical process skills, *Education in Chemistry*, Sept, 142-144.
- Swartz, R., 1982. Alternative learning strategies as part of educational process, *Science Education*, 60, 269-279.
- Takeco, 1984. Mapas conceptuales como instrumentos didácticos en la enseñanza de la Física, *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 80.
- Talton, E.L. y Simpson, R.D., 1986. Relationships attitudes toward self, family and school with attitude toward science among adolescents, *Science Education*, 11 (1), 35-37.
- Tamir, P. y García, M.P., 1992. Características de los ejercicios de prácticas de laboratorio incluidos en los libros de textos de Ciencia utilizados en Cataluña, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1), 3-12.
- Tiberghien, A., 1983. La investigación en un laboratorio de didáctica de las ciencias físicas, *Enseñanza de las Ciencias*, 1 (3), 187-192.
- Tobin, K. y Espinet, M., 1989. Impediments to change: applications of coaching in high school science teaching, *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (2), 105-120.
- Valcárcel, M.V. y Sánchez, G., 1990. Ideas de los alumnos de diferentes niveles educativos sobre el proceso de disolución, *Investigación en la escuela*, 11, 51-60.
- Valcárcel, M.V. et al., 1990. Problemática didáctica del aprendizaje de las Ciencias Experimentales, Secretariado de publicaciones de la Universidad de Murcia.
- Valente, M. y Neto, A.J., 1992. El ordenador y su contribución a la superación de las dificultades de aprendizaje en Mecánica, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (1), 80-85.
- Varela, P. et al., 1988. Circuitos eléctricos: una aplicación de un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en las ideas previas de los alumnos, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 285-290.
- Varela, P. et al., 1989. Selección bibliográfica sobre esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 292-295.
- Vázquez, A., 1990. Concepciones alternativas en Física y Química en el Bachillerato: una metodología diagnóstica, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (3), 251-258.
- Vázquez, A. 1992. Calificaciones, pruebas objetivas y aprendizaje significativo en Química y Física de COU, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3), 275-284.
- Vázquez, A., 1994. El paradigma de las concepciones alternativas y la formación de los profesores de Ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (1), 3-14.
- Vázquez, J., 1987. Algunos aspectos a considerar en la didáctica del calor, *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (3), 235-238.
- Viennot, L., 1989. L'enseignement des Science physiques objet de recherche, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 716, 899-910.
- Viennot, L. y Kaminsky, W., 1991. Participation des maîtres aux modes de raisonnement des élèves, *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (1), 3-9.
- Vilches, A., 1994. Las interacciones Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS), *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (1), 112-120.
- Villani A. y Pacca, J., 1990. Conceptos espontáneos sobre colisiones, *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (3), 238-243.

- Villani, A. et al., 1987. Students' spontaneous ideas about the speed of light, *International Journal of Science Education*, 9 (1), 13-22.
- Ward, A., 1987. On being an imaginative teacher science teacher, *School Science Review*, 68 (245), 614-621.
- Warren, J.W., 1982. The nature of energy, *European Journal of Science Education*, 3, 295-297.
- Warren, J.W., 1986. At what stage should energy be thought?, *Physics Education*, 21 (3), 154-156.
- Whyte, J., 1986. *Girls into science and technology*, Routledge and Kegan Paul, London.
- Woolnough, B. R. et al., 1990. Alternative approaches to assessment of practical work in Science, *School Science Review*, 71 (256), 127-131.
- Yager, R.E., 1990. Sta: Thinking over the years, *The Science Teacher*, 53 (3), 52-56.
- Yager, R.E. y Kahle, J.B., 1982. Priorities for need policies and research in science education, *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 523-530.
- Yager, R.E. y Penich, J.E., 1986. Perceptions of four age groups toward science classes, teachers and the values of science, *Science Education*, 70 (4), 335-363.
- Yager, R.E. y Yager, S.O., 1985. Changes in perception for third, seventh and eleventh grade students, *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 347-358.
- Yus, R., 1988. Características de una metodología investigativa para el aprendizaje constructivista y significativo de las Ciencias Naturales de Bachillerato, *Investigación en la escuela*, 4, 59-64.
- Zaki, C., 1978. *Tecnología de la Educación y su aplicación al aprendizaje de la Física*, CECSA, México.
- Zalamea, E. y Paris, R., 1989. ¿Saben los maestros la física que enseñan?, *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (3), 251-256.
- Zalamea, E. y Paris, R., 1992. ¿Es la masa la medida de la inercia?, *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 212-215.