

ANALISIS DE CONTENIDOS EN OPTICA GEOMETRICA

PERALES PALACIOS, F.J.

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Escuela Universitaria de Magisterio. Granada.

SUMMARY

This work reports on the findings of a content analysis in geometric optics. Such analysis has been carried out through two dimensions of the scientific content structure, the substantive and curricular ones. For that purpose, a consensual criterium out of nineteen textbooks of physics including the topic mentioned has been adopted. The first type of analysis leads to identify the «key» concepts and their relations in a hierarchized conceptual map. On the other hand, the curricular analysis resulted in a proposal of sequentiation for the implied contents. At the end, didactic consequences of the procedure described are discussed.

INTRODUCCION

Cuando asistimos en la actualidad a una proliferación de estudios y reuniones de educadores en ciencias experimentales, especialmente en el contexto educativo español, donde prácticamente resulta inexistente una tradición en la didáctica de tales materias, se aprecian en ocasiones ciertas lagunas en el «corpus» investigador que se va generando y cuyas causas no resulta siempre fácil averiguar, respondiendo frecuentemente a modas pasajeras que provocan una concentración de esfuerzos sobre determinados paradigmas que albergan un especial atractivo para los profesionales de la enseñanza. Esto es lo que estimamos que ocurre con la estructura de las ciencias y su relación con la didáctica de las mismas, que se está viendo relegada a un papel secundario en el interés de los enseñantes. Tal relación podría ser establecida en torno a dos directrices:

a) El enfoque de la enseñanza de las ciencias que toma en consideración fundamentalmente los preconceptos de los alumnos para la planificación instructiva (Perales, 1986) centra su atención en los conceptos más «significativos o básicos» de la disciplina en cuestión. Sin embargo, la aceptación de concepto más significativo o básico no parece quedar contrastada más que con criterios particulares de parte de los autores —léase, por ejemplo, en el ámbito de las ciencias físicas los conceptos de fuerza, gravedad, luz, calor, temperatura, presión, energía, etc. Esta generación espontánea de trabajos va urdiendo una red que se extiende heterogéneamente, tanto en amplitud como en profundidad, a través de la parte establecida de las ciencias de la

Naturaleza.

b) Si entendemos por estructura de una disciplina la relación lógica entre las unidades fundamentales de conocimiento (conceptos), tal estructura debería ser recopilada en función de los escritos originales de los científicos que contribuyeron de una forma trascendente a su construcción, lo cual no siempre resulta posible por dos razones especialmente: (i) la imposibilidad material de disponer comercialmente de gran parte de los referidos escritos en ediciones manejables; y (ii) la frecuente ausencia, por parte de aquellos, de visiones globales de las materias en las que se han producido sus referidas contribuciones. Por el contrario, ha correspondido frecuentemente este papel a los autores de los libros de divulgación bajo el enunciado de «Física General», «Química General»... La ordenación de los contenidos científicos en ambos tipos de fuentes de información presenta, en cualquier caso, una diferencia básica: en los primeros la ordenación responde a unos fines puramente lógicos de comunicación y en los segundos se superponen unos postulados esencialmente científicos, con unos intereses de hacer la exposición más asequible a los posibles lectores lo que, en definitiva, desemboca en una mezcla de organización lógica y psicológica, en la mayoría de las ocasiones no explicitada e, incluso, ni siquiera reconocida por los propios autores.

Parece, pues, razonable prestar atención a ambos aspectos de esta relación entre la estructura de las disciplinas y su didáctica.

EL CONCEPTO DE ESTRUCTURA DE LAS CIENCIAS Y LA RELACION CON SU DIDACTICA

Ya Bruner en su obra «The Process of Education» (1960) enfatizaba el papel de la estructura de la materia en el ámbito de la educación científica, aunque se debe especialmente a Schwab la contribución más importante en este terreno. Bruner centraba sus argumentaciones en la necesidad de enseñar la estructura de una disciplina a los alumnos por cuanto las generalizaciones se retienen y transfieren mejor que los hechos específicos y descontextualizados. En tal sentido, hace una referencia especial a las generalizaciones y principios básicos de tal modo que los hechos fundamentales de la materia pueden ser reconstruidos a partir de ellos. Un diseño curricular tal exigiría por parte del educador una alta comprensión de los fundamentos de aquella (Walton, 1971).

Schwab (citado en Shulman y Tamir, 1973) ha distinguido tres formas en las que se utiliza el concepto de estructura: (i) dimensión curricular; (ii) dimensión substantiva y (iii) dimensión sintáctica. La primera se identificaría con enfoques globales de la enseñanza de la disciplina, tales como secuenciación o combinación de los contenidos; la segunda con la selección de un cuerpo de conceptos que sirvan como guía para la investigación; y la tercera con su vertiente metodológica. A este respecto, Schulman y Tamir (op. cit.) llaman la atención sobre dos puntos importantes: (1) la estructura substantiva de la materia no puede ser considerada como un concepto establecido y aceptado universalmente sino poseyendo una componente, en bastante medida, subjetiva; (2) aunque tendencias recientes en la educación tienden a presentar el contenido científico como algo dinámico, generativo e incluso revolucionario (Kuhn, 1970), la estructura curricular es mostrada en los materiales de enseñanza como algo estable, no proclive al cambio.

La preocupación por el tema de la estructura adquiere especial trascendencia en el momento en que los planteamientos de la psicología cognitiva —representada en nuestro caso por Ausubel (1968)— se va imponiendo paulatinamente a la psicología conductista, y habida cuenta de que el postulado central de aquella consiste en la necesidad de integrar la información a transmitir dentro de la estructura cognitiva del educando para asegurar, así, la persistencia y significación del aprendizaje.

Entre la estructura del contenido y la estructura cognitiva existe, en cualquier caso, una diferencia fundamental: mientras la primera representa la conexión de las definiciones científicas de los conceptos y sus relaciones lógicas, la construcción de la estructura cognitiva que se desea alcance el educando está supeditada a los conceptos, relaciones semánticas y reglas de conexión existentes en la memoria semántica. Así la evaluación de una estructura de contenido sólo depende

de la teoría física, mientras que la de una estructura cognitiva depende de la teoría psicológica de representación del conocimiento (Rost, 1984). Pese a ello, parecen existir indicios razonables de una cierta dependencia entre la organización de los contenidos y el propio aprendizaje cognitivo (Peduzzi, 1982).

De cualquier modo, como señala Eigenmann (1975), el concepto de la estructura de las disciplinas sigue siendo oscuro, tendiéndose en la práctica a orientar el currículum en función de los conceptos fundamentales y de las intuiciones básicas de la disciplina en cuestión (estructura conceptual) para acercarse lo más posible a la estructura de las disciplinas.

En este trabajo, a través de un planteamiento empírico, vamos a tratar de establecer criterios útiles para el profesorado en su toma de decisiones que afecten a la estructura substantiva y a la estructura curricular en un tópico de Física bien definido: Óptica geométrica. En concreto nos preguntamos ¿qué conceptos pueden ser considerados básicos y en qué secuencia deben ser enseñados? Para ello hemos adoptado un modelo de desarrollo curricular que McDonald (1975) ha venido en llamar «modelo consenso-circular» y que contemplará, en nuestro estudio, como estructuras substantiva y curricular más apropiadas aquellas utilizadas por un mayor número de autores de textos sobre la disciplina en cuestión.

LA ESTRUCTURA SUBSTANTIVA Y LA REPRESENTACION CONCEPTUAL

Una vez descrito el contexto del problema investigado, vamos a detenernos en la estructura del tópico elegido en cuanto a la identificación de los conceptos útiles, sus relaciones mutuas y su representación simbólica. Stewart (1984) ha señalado dos categorías en las técnicas de representación del conocimiento: (1) aquellas técnicas que pueden ser usadas para representar el conocimiento conceptual (mapas conceptuales y redes estructurales activas); y (2) aquellas técnicas que pueden ser usadas para representar conocimiento de procedimientos (cartas de flujo). En el presente estudio y, como ya hemos señalado, nos centraremos en la técnica (1) y, en concreto, en los mapas conceptuales para la óptica geométrica.

La tarea que nos proponemos tropieza de cualquier modo con la dificultad referida de discernir entre la posible estructura del contenido universalmente aceptada y los planteamientos particulares de sus intérpretes, materializados por los autores de textos de divulgación de dicho contenido científico. Por otra parte, la construcción y representación de la estructura cognitiva deseada precisa de un listado de conceptos básicos, sus significados y las proposiciones importantes (Stewart, op. cit., en línea con los presupuestos de las teorías de red de la memoria semántica o con otras técnicas (Huerta, 1977; Karplus, 1981). Por consiguiente, parece suficien-

temente evidenciada la necesidad de proceder a seleccionar, en un primer paso, los conceptos básicos de la materia.

Para ello hemos hecho uso de una muestra de libros de Física donde se incluyen los contenidos que forman parte del apartado de la óptica conocido normalmente como geométrica (excluyendo el estudio de los instrumentos ópticos). En concreto hemos utilizado un total de diecinueve libros, uno de nivel de BUP, uno de curso Preuniversitario, uno monográfico de óptica y los dieciséis restantes a nivel de Física general; cinco textos pertenecían a autores españoles y el resto eran traducciones de ediciones extranjeras (Apéndice I). El procedimiento seguido en el análisis de sus contenidos ha consistido, en una primera fase, en la identificación, a través de su lectura, de los conceptos específicos de óptica geométrica, es decir, aquellos vocablos científicos que utilizándose en este tópico no lo son necesariamente en otras ramas de la Física, a no ser de forma meramente eventual (por ejemplo, reflexión de la luz, ángulo límite, camino óptico...). De esta forma y siguiendo la nomenclatura del apéndice I para cada referencia bibliográfica, en la Tabla I se muestran las frecuencias de tales conceptos hallados en la revisión de cada ejemplar bibliográfico.

A continuación hemos efectuado un recuento de los conceptos entre el conjunto de textos, lo que nos ha permitido obtener un total de 270 términos de óptica geométrica, no reproducidos aquí por razones de espacio, con sus correspondientes frecuencias de aparición. Siguiendo un proceso de síntesis, revisamos dicha relación de conceptos buscando los vocablos que, refiriéndose a un mismo concepto físico, fuesen denominados en forma diferente en lo que hemos venido en denominar «ambigüedad terminológica» y cuyos resultados se han representado en la Tabla II. En esta tabla aparece la acepción más común junto con el resto de las denominaciones de igual significado. Este procedimiento conduce, por un lado, a reducir el número total de vocablos identificados y, por el otro, a proponer denominaciones unívocas para cada concepto de óptica geométrica.

Siguiendo con el proceso de síntesis iniciado anteriormente, optamos por jerarquizar los conceptos resultantes de la anterior fase del estudio, de acuerdo con su frecuencia de aparición en los diecinueve libros que configuran la muestra bibliográfica. Así, por ejemplo, el orden primero de esta jerarquía correspondería a aquellos términos que apareciesen en los diecinueve textos analizados y, consiguientemente, el orden décimonoeno a los términos que sólo fuesen citados en uno de dichos textos. La Tabla III reproduce los órdenes jerárquicos y los conceptos afectados por cada uno de ellos, habiéndose suprimido los órdenes a partir del decimocuarto por razones de extensión y de significación de los vocablos implicados para nuestros propósitos de selección de conceptos básicos en óptica geométrica.

Llegados a este punto parecería haberse logrado la identificación de los conceptos básicos referidos, tomando como criterio su frecuencia de utilización en los contenidos del tópico estudiado presentes en los textos objeto de estudio. Y así resulta ser; no obstante, aún resta incidir en dos aspectos de la estructura substantiva de la materia; en concreto, las relaciones entre los conceptos y su representación simbólica. Ambos pueden ser elaborados a partir de la toma en consideración de dos componentes intrínsecas al concepto: el subconcepto y el atributo. Los subconceptos son conceptos más específicos que aquellos que los configuran (por ejemplo, lente divergente resulta ser un subconcepto de lente). Los atributos son asimismo conceptos que intervienen en la definición de un concepto en particular (por ejemplo, el concepto de espejo precisa para su definición del concepto-atributo de reflexión luminosa). El análisis de una materia dada permite el establecimiento de una ordenación de subconceptos («jerarquía de abstracción») y de una ordenación de atributos («jerarquía de complejidad»), ortogonales entre sí y que responden al hecho que puede resumirse diciendo que «un concepto es el complejo de todas sus partes así como la abstracción de todos sus subconceptos». Ambas relaciones son calificadas como relaciones «intraconceptuales» por contraposición a las relaciones «interconceptuales» que conectan conceptos de diferentes áreas (Rost, 1984).

Tabla I

Frecuencia de vocablos científicos de óptica geométrica encontrados en cada uno de los libros de Física revisados.

Nº de referencia bibliográfica (ver Apéndice I)	Frecuencia
1	30
2	52
3	110
4	73
5	28
6	45
7	16
8	41
9	38
10	32
11	34
12	83
13	10
14	21
15	50
16	52
17	39
18	88
19	24
	\bar{x} 45,6
	s_{N-1} 25,5

Tabla II

Ambigüedad terminológica registrada en la revisión de términos científicos de óptica geométrica a través de la muestra bibliográfica.

<u>Acepción más frecuente</u>	<u>Otras scepcciones</u>
. Aberración esférica.....	Aberración esférica de esfericidad/ Aberración esférica por esfericidad/ Esfericidad
. Angulo de desviación.....	Desviación
. Angulo de refringencia.....	Angulo refringente/ Angulo refringente del prisma/ Angulo del prisma
. Angulo límite.....	Angulo límite de refracción/ Angulo crítico
. Aumento.....	Amplificación/ Ampliación de un sistema óptico
. Aumento lateral.....	Aumento lineal
. Camino óptico.....	Longitud del recorrido óptico/ Longitud de la trayectoria óptica del rayo
. Centro óptico.....	Centro
. Dioptrio.....	Dióptrico
. Dispersión.....	Dispersión de la luz/ Dispersión cromática/ Dispersión de color/ Dispersión angular
. Distancia focal.....	Longitud focal/ Focal
. Eje óptico.....	Eje principal/ Eje del sistema/ Eje/ Eje de colimación
. Espesor.....	Grosor
. Estigmatismo.....	Stigmatismo
. Foco.....	Punto focal
. Foco objeto.....	Foco del espacio imagen/ Foco posterior
. Foco imagen.....	Foco del espacio imagen/ Foco posterior
. Haz luminoso.....	Haz de rayos/ Haz de luz/ Haz
. Imagen.....	Imagen óptica
. Imagen derecha.....	Imagen directa
. Índice de refracción relativo.	Indice relativo de refracción
. Lámina de caras plano-paralelas.....	Lámina de caras planas y paralelas/ Lámina plano-paralela
. Lente cilíndrica.....	Lente esférica gruesa
. Lente convergente.....	Lente positiva
. Lente divergente.....	Lente negativa
. Plano focal imagen.....	Plano focal posterior
. Plano focal objeto.....	Plano focal anterior
. Potencia de una lente.....	Potencia/ Poder de una lente/ Potencia óptica/ Convergencia
. Prisma.....	Prisma óptico
. Punto nodal.....	Nodo
. Rayo.....	Rayo luminoso/ Rayo de luz
. Reflexión difusa.....	Reflexión no especular
. Reflexión total.....	Reflexión total interna/ Reflexión interna total
. Reversibilidad.....	Invertibilidad
. Sistema óptico estigmático.....	Sistema óptico anastigmático

Tabla III

Ordenes de jerarquía conceptual y conceptos afectados.

Orden	Conceptos
1º	Luz/Velocidad de la luz/Reflexión/Refracción
2º	Imagen
3º	Angulo de incidencia/Angulo de reflexión
4º	Imagen real/Imagen virtual/Lente
5º	Rayo/Angulo de refracción
6º	Aberración/Aberración esférica
7º	Reflexión total/Angulo límite/Dispersión
8º	Lente convergente/Lente divergente
9º	Indice de refracción/Prisma/Poco
10º	Rayo incidente/Haz luminoso/Sistema óptico/Objeto/Eje óptico/Distancia focal/Lente delgada
11º	Reflexión difusa/Rayo reflejado/Espejo plano/Aumento
12º	Reflexión especular/Rayo refractado/Poco imagen/Potencia/Rayos paraxiales/Aumento lateral
13º	Espejo esférico/Camino óptico/Poco objeto/Plano focal/Aberración cromática
14º	Indice de refracción relativo/Espejo cóncavo/Angulo de refringencia/Planos principales/Aumento angular/Curvatura de campo/Distorción

En este sentido hemos actuado, en primer lugar, para construir la jerarquía de abstracción de los conceptos representados en la Tabla III, habiendo confeccionado de este modo la Tabla IV donde pueden apreciarse los superconceptos surgidos por oposición a sus subconceptos.

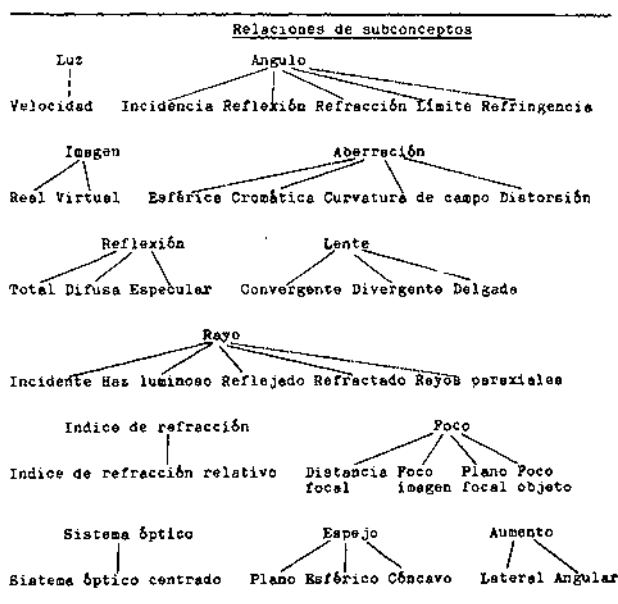
La consecución de la jerarquía de complejidad exige explicitar las definiciones y generalizaciones más significativas de la materia implicada. A tal fin hemos efectuado dicha selección entre los contenidos de las fuentes bibliográficas consultadas en este estudio, lo que ha desembocado en las definiciones y proposiciones incluidas en la Tabla V. Las definiciones aquí recogidas corresponden a los superconceptos identificados en las Tablas III y IV (excepto para aquellos conceptos, como luz, imagen, índice de refracción, que no son definidos normalmente de una forma enunciativa) y se han ofrecido las correspondientes a los distintos enfoques de los libros de Física sobre las mismas, subrayando los atributos conceptuales de óptica geométrica implicados. Por otra parte, las generalizaciones se han distribuido en dos apartados: leyes principales y otras generalizaciones.

Una vez construidos los órdenes conceptuales (Tabla III) y las jerarquías de abstracción (Tabla IV) y de complejidad (Tabla V) puede procederse, por último, a la representación simbólica de la estructura substantiva del tópico óptica geométrica. Esto es lo que se ha reflejado en la Tabla VI, donde se han aunado las jerarquías de abstracción y de complejidad para lograr una

jerarquía unitaria de los conceptos, de forma que su abstracción y complejidad máxima coincida con su mayor aproximación al borde superior de la página donde se inscribe la tabla. De igual modo, se han recogido los superconceptos no pertenecientes propiamente a óptica geométrica y que estarían ligados a los característicos de esas materias mediante relaciones interconceptuales.

Tabla IV

Jerarquía de abstracción establecida a partir de los conceptos representados en la Tabla III.



LA ESTRUCTURA CURRICULAR Y LA SECUENCIACION TEMPORAL DE LOS CONTENIDOS

Toda vez que hemos culminado la elaboración de la estructura substantiva de la óptica geométrica con la construcción de la red semántica de los conceptos más significativos intervinientes, vamos a incidir en la consecución de la estructura curricular tal y como es contemplada por Schwab y, en concreto, en lo referente a la secuenciación temporal de los contenidos para su impartición entre los discentes.

A tal fin hemos recurrido de nuevo a la muestra bibliográfica seleccionada y que aparece reflejada en el apéndice a este trabajo. En dichos textos hemos reproducido los apartados y subapartados que, en sus respectivos índices, están relacionados con la materia que nos atañe y en el orden por aquellos establecido. A continuación hemos representado tal secuenciación en organigramas para cada uno de los libros analizados. Co-

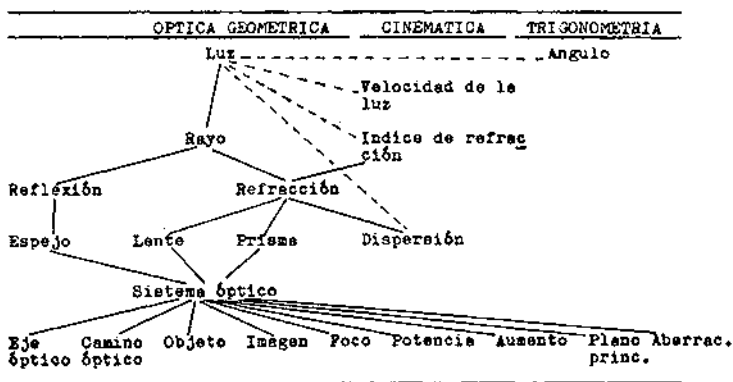
Tabla V

Jerarquía de complejidad establecida a través de las definiciones de algunos superconceptos de óptica geométrica que corresponden a un mayor orden de jerarquía (Tabla III) y proposiciones importantes del mismo tópico (los términos subrayados son los atributos implicados en las definiciones y proposiciones).

DEFINICIONES	
- Rayo:	a) línea imaginaria dibujada en la dirección de propagación de la onda b) normal a las superficies de onda c) trayectoria seguida por un corpúsculo luminoso
- Reflexión:	cambio de dirección que experimenta un <u>rayo luminoso</u> al incidir en las superficies de los cuerpos
- Refracción:	cambio de la velocidad y dirección que experimenta un <u>rayo luminoso</u> al pasar de un medio a otro de distinto <u>índice de refracción</u>
- Dispersión:	a) descomposición en sus colores más simples que experimenta un <u>rayo luminoso</u> de luz compleja al atravesar un <u>prisma</u> b) propiedad de las sustancias en las que la <u>velocidad de la luz</u> varía con su longitud de onda
- Espejo:	superficies lisas y pulimentadas con elevado poder de <u>reflexión</u>
- Lente:	medio transparente, isótropo y homogéneo, limitado por dos superficies curvas o por una plana y otra curva
- Prisma:	medio transparente, isótropo y homogéneo, limitado por caras planas no paralelas
PROPOSICIONES IMPORTANTES	
1) Leyes principales	- Leyes de la reflexión (<u>rayo luminoso</u>) - Leyes de la refracción (<u>rayo luminoso</u>) - Principio de reversibilidad del camino seguido por la luz (<u>rayo luminoso</u>) - Principio de Fermat (<u>rayo luminoso</u>)
2) - Definición de óptica geométrica	(<u>rayo luminoso</u> , <u>reflexión</u> , <u>refracción</u>)
- Aproximación paraxial	(<u>rayo luminoso</u>)

Tabla VI

Organigrama representativo de la jerarquización para los superconceptos (las líneas continuas indican relaciones intraconceptuales y las discontinuas relaciones interconceptuales).



mo ejemplo de este procedimiento, incluimos en la Tabla VII el extracto del índice y su representación mediante organigrama de uno de los tratados de Física (11); en este organigrama conviene clarificar que el orden temporal creciente de impartición de los contenidos tiene un sentido de arriba hacia abajo, de modo que el contenido más próximo al lado inferior de la página de la Tabla VII es, a su vez, el impartido en último lugar. Cuando concluimos la representación de las secuencias temporales de los contenidos para cada uno de los libros de este estudio, procedimos a complementar la fase de síntesis de los resultados a la búsqueda de una secuenciación fruto del consenso entre el mayor número de materiales bibliográficos. Para ello hubimos de recurrir a la descomposición de los organigramas representativos en secuencias parciales, de forma que pudieran ser contabilizadas en el conjunto de los organigramas, guardando algún tipo de coherencia formal. Así, como caso particular, hemos incluido en la Tabla VIII las secuencias parciales donde interviene el concepto de reflexión identificadas en nuestro análisis, junto con sus frecuencias de aparición, es de-

cir, los libros donde tales secuencias pueden hallarse.

El procedimiento descrito nos proporcionó una serie de secuencias temporales y sus correspondientes frecuencias y, en definitiva, nos permitió seleccionar aquellas más utilizadas entre los ejemplares bibliográficos, tras lo cual hubimos de compaginarlas hasta conseguir abarcar los núcleos de contenido de óptica geométrica más significativos y, por consiguiente, la secuencia de impartición de contenidos más representativa. Esta se muestra en la Tabla IX.

CONSECUENCIAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA FISICA

El esquema que hemos presentado para el análisis de contenidos científicos puede ser extrapolado a cualesquiera otros tópicos de la Física o ciencias afines; asimismo las consecuencias de tipo didáctico que pueden extraerse de los datos obtenidos en su aplicación son diversas. Comentaremos a continuación algunas de ellas.

Tabla VII

Secuencia de los contenidos de óptica geométrica en Halliday y Resnick (1972)

INDICE DE CONTENIDOS

- Naturaleza y propagación de la luz
- Reflexión y refracción. Ondas planas y superficies planas
 1. Reflexión y refracción
 2. Principio de Huygens
 3. El principio de Huygens y la ley de la reflexión
 4. El principio de Huygens y la ley de la refracción
 5. Reflexión total interna
 6. Principio de Fermat
- Reflexión y refracción. Ondas esféricas y superficies esféricas
 1. Óptica geométrica y óptica ondulatoria
 2. Ondas esféricas. Espejo plano
 3. Ondas esféricas. Espejo esférico
 4. Superficie esférica refractora
 5. Lentes delgadas

ORGANIGRAMA DE CONTENIDOS

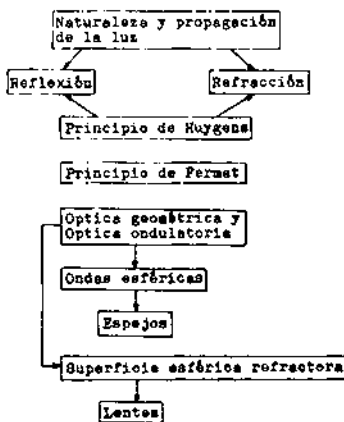


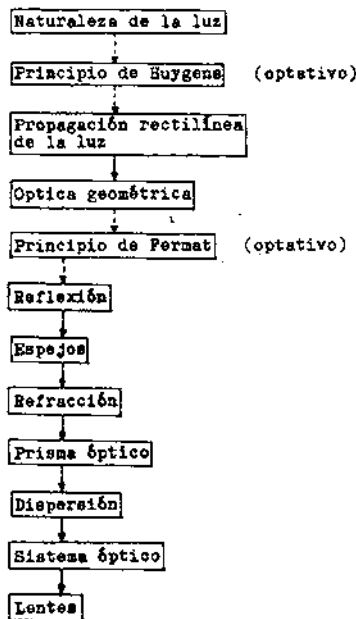
Tabla VIII

Secuenciación temporal en los diversos organigramas lógicos donde interviene el concepto de reflexión (etapas temporales en la secuenciación: A, B, C, D...).

SECUENCIAS	FRECUENCIA
A.- Naturaleza de la luz	5
B.- Propagación rectilínea de la luz u óptica geométrica	
C.- Reflexión	
D.- Refracción	
A.- Naturaleza de la luz	3
B.- Reflexión	
C.- Refracción	
A.- Naturaleza de la luz	3
B.- Principio de Huygens	
C.- Reflexión	
D.- Refracción	
A.- Propagación rectilínea de la luz u óptica geométrica	4
B.- Reflexión	
C.- Refracción	
A.- Reflexión	2
B.- Refracción	
C.- Principio de Huygens	
A.- Reflexión	6
B.- Espejos	

Tabla IX

Propuesta de secuenciación temporal para la impartición de los contenidos establecida a partir de los organigramas analizados.



En el ámbito formal resulta aconsejable que los libros de texto introduzcan los conceptos específicos de la materia diferenciándolos tipográficamente del resto de los elementos gramaticales expuestos en los mismos (por ejemplo, haciendo uso de letra versalita o negrita). Otro tanto habría que solicitar con respecto a las proposiciones y leyes importantes. Por otra parte, también sería deseable un acuerdo entre los responsables de la enseñanza de la Física para la no utilización de vocablos diversos en la denominación de un mismo concepto científico, tal y como hemos recogido en la Tabla II.

En otro orden de cosas el mapa conceptual extraído como fruto de la síntesis de las jerarquías de abstracción y de complejidad (Tabla VI) explicita los conceptos básicos de la materia objeto de estudio así como sus relaciones mutuas. Ello conlleva una clarificación de la estructura de los contenidos y la selección de los conceptos sobre los que debe gravitar el desarrollo de la enseñanza basada en presupuestos cognitivistas. En este sentido la representación de la Tabla VI podría ser el punto de encuentro entre la estructura lógica y la estructura cognitiva del alumno que debería ser verificada a través de instrumentos de evaluación de índole diversa (preconceptos, resolución de problemas...) Por otra parte, el mapa conceptual descrito permite seleccionar de un modo coherente los conceptos sobre los que diagnosticar esquemas previos del alumno; así, y dentro del contexto de óptica geométrica, si elegimos

los cuatro primeros niveles horizontales de la representación, los conceptos a investigar serían: luz, rayo, reflexión, refracción, espejo, lente, prisma y dispersión; pudiendo graduar consiguientemente el número de conceptos que se desee.

Por último, la plasmación de la estructura curricular de la materia en una secuencia temporal de contenidos (Tabla IX) obtenida por consenso entre los tratados escritos, proporciona un esquema de actuación para el profesorado que ha de impartir los contenidos y que se plantea su ordenación de cara al alumnado. La confirmación de la validez de esta secuencia precisaría de su contrastación empírica frente a secuencias alternativas. Asimismo, la diversidad de tales secuencias detectada en la muestra de libros analizada viene a corroborar la afirmación de Shulman y Tamir (op. cit.) sobre la componente subjetiva que afecta en gran medida a la estructura de una materia, al menos en su vertiente curricular.

APENDICE 1

1. Alonso, M. y Finn, E.J., 1976, Física (3 vol.). (Fondo Educativo Interamericano: Madrid).
2. De Alvarenga, B.G. y Máximo, A., 1976, Física General. (Harla: México).
3. Casas, J., 1972, Óptica. (Universidad de Zaragoza: Zaragoza).
4. Catalá, J., 1977, Física General. (Saber: Valencia).
5. Crawford, F.S., 1971, Berkeley Physics Course (3 vol.). (Reverté: Barcelona).
6. Eisberg, R.M. y Lerner, L.S., 1984, Física: Fundamentos y Aplicaciones (2 vol.) (McGraw-Hill: México).
7. Feynman, R.P., Leighton, R.B. y Sands, M., 1971, Física (2 vol.) (Fondo Educativo Interamericano: Santiago de Chile).
8. Fidalgo, J.A., 1976, Física y Química (2º BUP). (Everest: León).
9. Gamow, F. y Cleveland, J.M., 1974, Física. (Aguilar: Madrid).
10. Giancoli, D.C., 1985, Física. Principios y Aplicaciones (Reverté: Barcelona).
11. Halliday, D. y Resnick, R., 1972, Física (2 vol.). (Compañía Editorial Continental: México).
12. Mañas, J. y Martínez, R., 1969, Física (Curso Preuniversitario). (Anel: Granada).
13. Orear, J., 1974, Física Fundamental. (Limusa: México).
14. Physical Science Study Committee (PSSC), 1970, Física (Reverté: Barcelona).
15. Savéliev, I.V., 1984, Curso de Física General (3 vol.). (Mir: Moscú).
16. Sears, F.W. y Zemansky, M.W., 1970, Física General. (Aguilar: Madrid).
17. Tipler, P.A., 1979, Física (2 vol.). (Reverté: Barcelona).
18. Vidal, J.M., 1972, Curso de Física. (Grafesa: Barcelona).
19. Young, H.D., 1971, Fundamentos de Óptica y Física Moderna (McGraw-Hill: México).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AUSUBEL, D.P., 1968, *Educational Psychology: a Cognitive View*. (Holt, Rinehart y Winston: New York).
- BRUNER, J.S. 1960, *The Process of Education*. (Harward University Press: Cambridge).
- EIGENMANN, J., 1975, *Sequenzen in Curriculum*. (Beltz Verlag: Weinheim and Basel).
- HUERTA, J., 1977, *Organización lógica de las experiencias de aprendizaje*. (Trillas: México).
- KARPLUS, R., 1981, Educational Aspects of the Structure of Physics, *Am. J. Phys.*, 49, pp. 238-241.
- KUHN, T., 1970, *The Structure of Scientific Revolutions*. (University of Chicago: Chicago).
- McDONALD, J.B., 1975, Curriculum and Human Interests, en: *Curriculum Theorizing: The Reconceptualists*, editado por Pinar, W. (McCutchan Publishing Corp.: Berkeley) p. 283.
- PEDUZZI, S.S., 1982, Influence of Organization of Content on Students' Cognitive Learning: a Comparative Study, *Rev. Bras. Fis.*, 12, pp. 387-404.
- PERALES, F.J., La exploración en los preconceptos: ¿una alternativa válida para la enseñanza de las ciencias? (enviado a *Infancia y Aprendizaje*).
- ROST, J., 1984, Network Theories of Semantic Memory and their Implications for Teaching Physics, en: International Summer Workshop: Research on Physics Education. (CNRS: París) pp. 185-211.
- SHULMAN, L.S. y TAMIR, P., 1973, Research on Teaching in the Natural Sciences, en: *Second Handbook of Research on Teaching*, editado por Travers, R.M.W. (Rand McNally Co.: Chicago) pp. 1098-1148.
- STEWART, J.H., 1984, The representation of Knowledge: Curricular and Instructional Implications for Science Teaching, en: *Spatial Learning Strategies*. (Academic Press: Chicago), cap. 11.
- WALTON, J. (editor), 1971, *Curriculum Organization and Design*. (Ward Lock Educational: London).