

ORGANIZACION DEL
CONOCIMIENTO Y
RESOLUCION DE
PROBLEMAS EN
FISICA

F. LOPEZ RUPEREZ

C·I·D·E·

ORGANIZACION DEL
CONOCIMIENTO Y
RESOLUCION DE
PROBLEMAS EN
FISICA

F. LOPEZ RUPEREZ

C·I·D·E·

**ORGANIZACION DEL
CONOCIMIENTO Y
RESOLUCION DE
PROBLEMAS EN FISICA**

F. López Rupérez

**ESTUDIO FINANCIADO CON CARGO A LA CONVOCATORIA DE
AYUDAS A LA INVESTIGACION DEL C.I.D.E.**

Número 66
Colección: INVESTIGACION

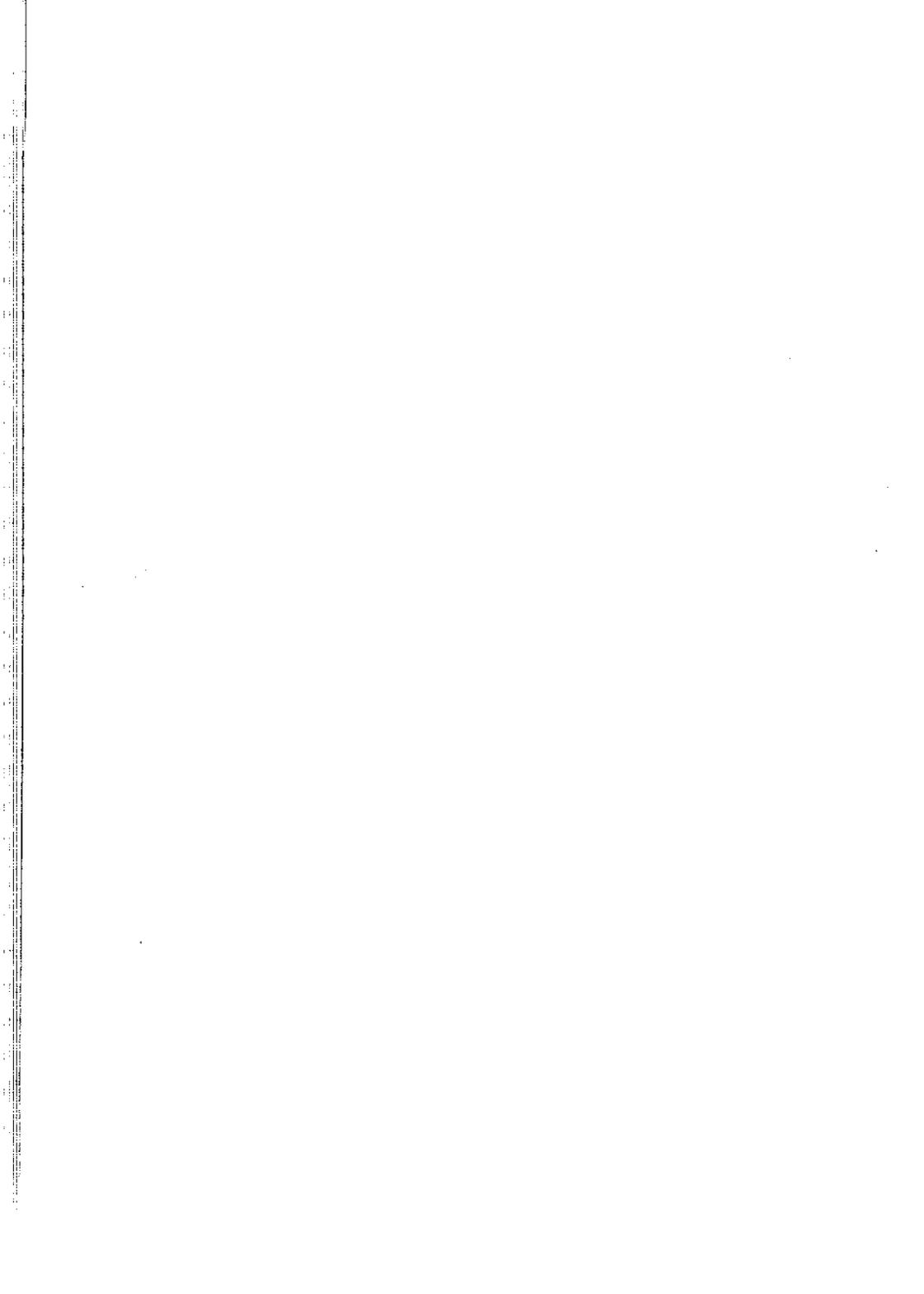
LOPEZ RUPEREZ, F.

Organización del conocimiento y resolución de problemas en física / F. López Rupérez. -
Madrid : Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia : C.I.D.E., 1991.

1. Física 2. Enseñanza 3. Solución de problemas 4. Educación científica

© MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA
C.I.D.E. Dirección General de Renovación Pedagógica.
Secretaría de Estado de Educación.
EDITA: CENTRO DE PUBLICACIONES - Secretaría General Técnica.
Tirada: 1.000 ej.
Depósito Legal: M-43110-1991
NIPO: 176-91-150-X
I.S.B.N.: 84-369-2031-7
Imprime: GRAFICAS JUMA
Plaza de Ribadeo, 7-I. 28029 MADRID

A mi hijo
Oscar

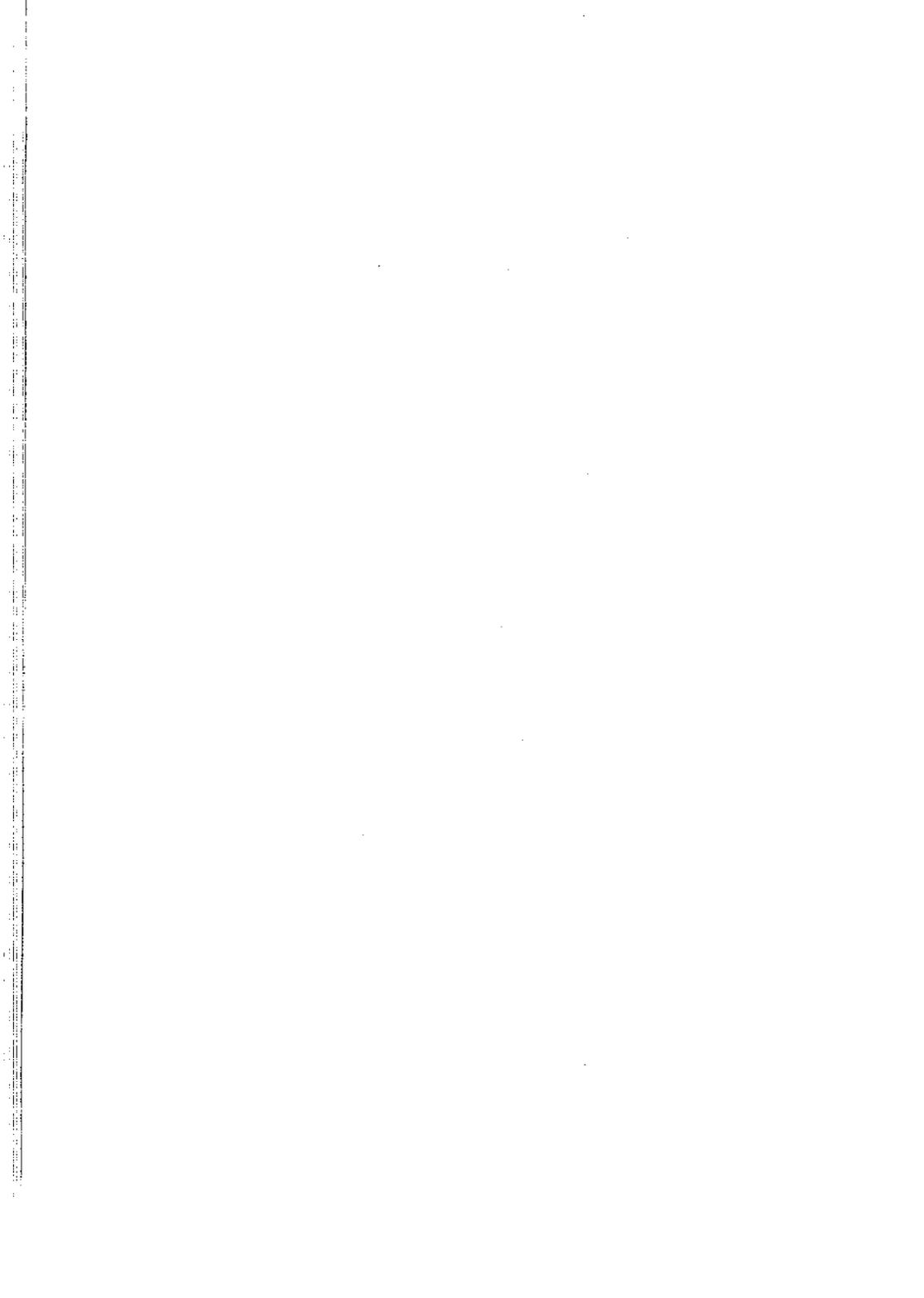


INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	9
1. INTRODUCCION	11
2. ORGANIZACION DEL CONOCIMIENTO Y APRENDIZAJE CIENTIFICO	17
1. INTRODUCCION	17
2. CONOCIMIENTO DECLARATIVO vs. CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL	18
3. EL CONOCIMIENTO COMO ESTRUCTURA	21
3.1. Una inspiración geométrica	21
3.2. Estructura cognitiva y tests de asociación de palabras	25
3.3. Estructura cognitiva y mapas conceptuales	29
3.3.1. Un intento de clasificación	30
3.3.2. Las redes semánticas y los mapas tipo Novak	32
3.3.3. Los mapas conceptuales y la efectividad en la resolución de problemas	42
4. EL CONOCIMIENTO COMO PROTOTEORIAS	47
5. JERARQUIZACION DEL CONOCIMIENTO Y RESOLUCION DE PROBLEMAS	51
3. LA RESOLUCION DE PROBLEMAS EN FISICA Y LOS ESTUDIOS EXPERTOS-NOVATOS	55
1. INTRODUCCION	55
2. CONCEPTO DE PROBLEMA	56
3. ESTUDIOS EXPERTOS-NOVATOS	58
3.1. "Comprensión y enseñanza de resolución de problemas en Física"	59

3.2. "Actuación del experto y del novato en la resolución de problemas de Física"	61
3.3. "Categorización y representación de problemas de Física por expertos y novatos"	62
3.4. "Expertez en resolución de problemas"	65
4. HACIA UNA NUEVA ORIENTACION	70
4. LA CUESTION DE LAS DIFERENCIAS INDIVIDUALES	73
1. INTRODUCCION	73
2. LA DEPENDENCIA/INDEPENDENCIA DE CAMPO COMO EXPRESION DE LAS DIFERENCIAS INDIVIDUALES	75
3. LA DIC Y LA CORRIENTE DE INVESTIGACION A.T.I.	77
4. DIC Y CREATIVIDAD	81
5. DIC Y MARCOS ALTERNATIVOS	86
6. DIC Y RESOLUCION DE PROBLEMAS	89
5. ESTUDIO I: DEPENDENCIA/INDEPENDENCIA DE CAMPO, MAPAS CONCEPTUALES Y RESOLUCION DE PROBLEMAS DE FISICA	95
1. INTRODUCCION	95
2. METODOLOGIA	96
2.1. Muestra	96
2.2. Hipótesis	97
2.3. Instrumentos y variables	98
3.4. Tratamiento	108
2.5. Diseño experimental y técnicas de análisis	110
3. RESULTADOS Y DISCUSION	113
3.1. ANOVAS (tratamiento x efectividad) controlando la DIC ...	113
3.1.1. Por grupos de problemas generales/estándar	113
3.1.2. Por problemas individuales	115
3.1.3. Por grupos de esquemas de razonamiento análogos ...	117
3.2. CROSSTABS (esquemas de razonamiento x IC)	119
3.3. CROSSTABS (esquemas de razonamiento x tratamiento) ...	122
3.4. Discusión global del efecto del tratamiento	123
4. ALGUNAS IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LA FISICA	130
6. ESTUDIO II: MAPAS CONCEPTUALES Y ESTRUCTURA COGNITIVA DE ESTUDIANTES DE FISICA	133
1. INTRODUCCION	133
2. METODOLOGIA	134

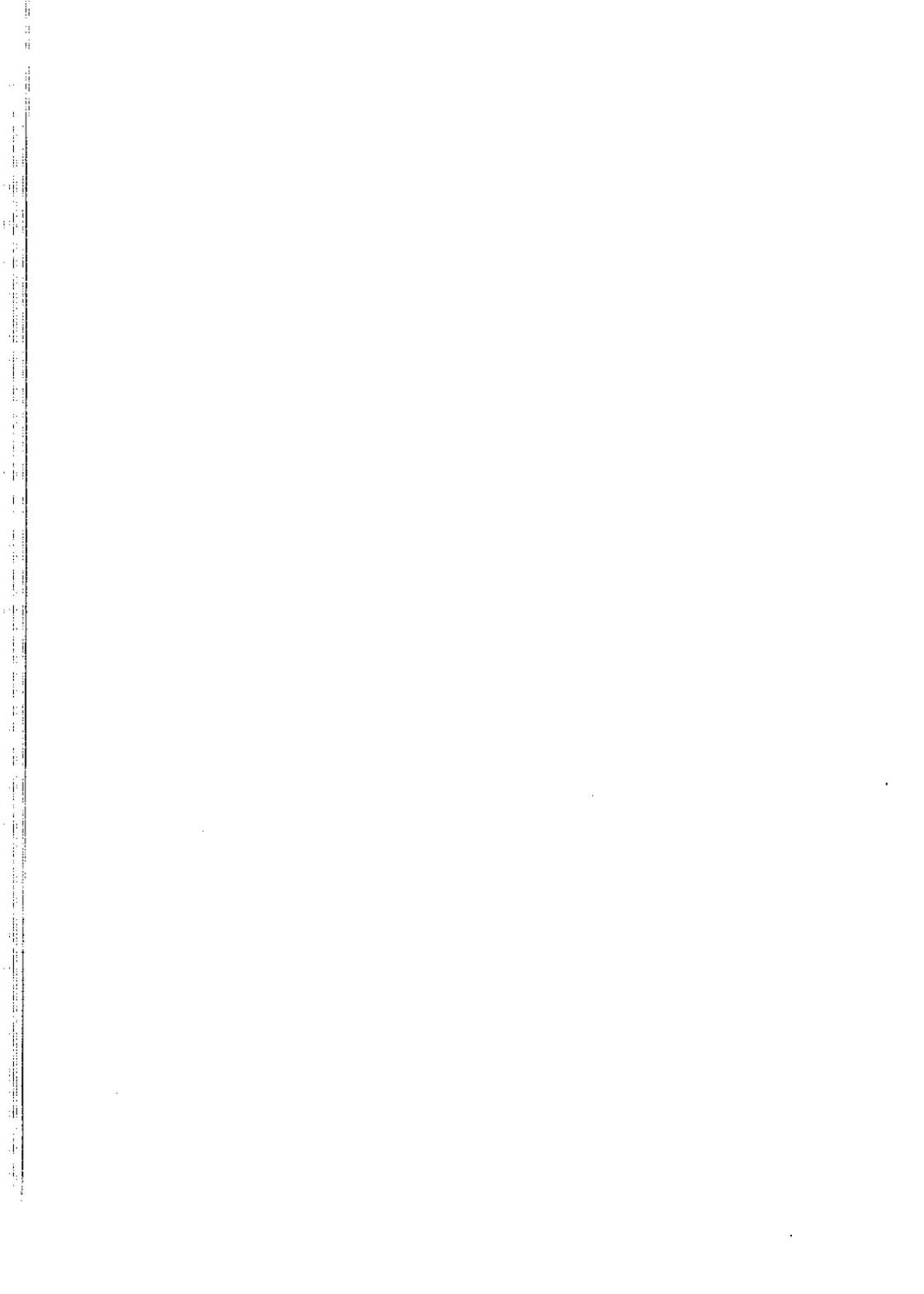
2.1. Muestra	134
2.2. Hipótesis	135
2.3. Instrumentos y variables	135
2.4. Tratamiento	136
2.5. Diseño experimental y técnicas de análisis	137
3. RESULTADOS	139
3.1. Influencia del trabajo personal	139
3.2. Influencia del tratamiento	140
4. DISCUSION	142
7. ESTUDIO III: ORGANIZACION Y REPRESENTACION DEL CO- NOCIMIENTO EN SUJETOS BUENOS RESOLVENTES Y EN SUJETOS MALOS RESOLVENTES ANTE PROBLEMAS DE FI- SICA	149
1. INTRODUCCION	149
2. LOS SUJETOS	150
3. LOS PROBLEMAS	151
4. LOS PROCEDIMIENTOS	154
4.1. Aspectos generales. Hipótesis conductoras	154
4.2. Evaluación del conocimiento declarativo: Mapas conceptuales	156
4.3. Procedimientos de análisis de los mapas conceptuales	157
4.4. Evaluación del conocimiento procedimental: "thinking aloud"	158
4.5. Procedimientos de análisis de los protocolos verbales	160
5. RESULTADOS Y DISCUSION	162
5.1. Los buenos resolventes frente a los malos resolventes	162
5.1.1. El problema de la representación	162
5.1.2. Diferencias en cuanto al conocimiento declarativo	171
5.1.3. Diferencias en cuanto al conocimiento procedimental	176
5.1.4. Otras diferencias	187
5.2. Los buenos resolventes frente a los expertos	188
5.2.1. Aspectos generales	188
5.2.2. Características fundamentales del comportamiento de los expertos	189
5.2.3. Los buenos resolventes frente a los expertos	190
6. ALGUNAS CONCLUSIONES	193
6.1. Organización del conocimiento vs. representación	193
6.2. Competencia vs. expertez	194
6.3. A modo de conclusión final	196
REFERENCIAS	197



AGRADECIMIENTOS

La investigación que aquí se describe y junto con ella su autor tenemos contraída una deuda de gratitud con el C.I.D.E. que aumenta con el tiempo. Su apoyo económico —a través, esta vez, del programa de Ayudas a la Investigación educativa 1987— se convierte en el pretexto para sellar un compromiso formal que, al menos en mi caso, constituye un estímulo para la producción intelectual. Pero, además, la concesión del 2º Premio Nacional de Investigación Educativa 1990 y la publicación de la presente monografía, referidas ambas a la misma investigación, justifican sobradamente ese sentimiento personal de deuda creciente. Mi reconocimiento se extiende a Carlos Palacios, no sólo por su colaboración en la fase inicial de la presente investigación, sino también porque en ésta como en otras ocasiones, hizo bueno para mí el heurístico consistente en “discutir el problema con otros”. Montse, mi mujer, puso en limpio mis folios garabateados entre restos de goma de borrar y, con la maestría que le caracteriza, trasladó su contenido al disco de nuestro sufrido PC. Mis alumnos de COU, tanto del Instituto Cardenal Herrera Oria de Madrid como del Liceo Español de París, se prestaron gustosos a ser objeto de investigación. Con ello, no sólo hicieron materialmente posible la realización de los diferentes estudios empíricos, sino que, además y a través de éstos, activaron la generación de algunas ideas nuevas. Por lo demás, de los errores y de las carencias soy yo, finalmente, el único responsable.

*París, Octubre 1991
Francisco López Rupérez*



CAPITULO 1

INTRODUCCION

La resolución de problemas constituye la componente central del trabajo científico. La producción de conocimiento y el propio desarrollo de la ciencia son, esencialmente y en lo que respecta a su historia interna, el resultado de plantearse, en cada caso, los problemas adecuados y de encontrar, consecuentemente, las respuestas oportunas. Dicha tarea, que constituye el núcleo de la ciencia en general y de la Física en particular, alcanza al propio físico en su forma de enfrentarse con el mundo; como ha señalado certeramente Fuller (1982):

“¿Quién de nosotros físicos no ha descubierto de repente, dentro de un grupo de amigos no físicos, que esta propensión nuestra por resolver problemas nos distingue o incluso nos separa de los otros?” (p. 43).

La resolución de problemas concierne asimismo, y de un modo capital, a la didáctica de la Física. La adquisición de las destrezas correspondientes constituye, desde luego, la principal dificultad con la que se enfrentan los estudiantes y, en cierta medida, los profesores que han de transmitirlos en niveles de instrucción secundarios y terciarios; pero, además, resulta un elemento imprescindible para propiciar un aprendizaje científico efectivo y completo.

No obstante, con alguna frecuencia, filósofos y científicos tienden a segregar drásticamente la resolución de problemas, propia del ámbito científico, de la correspondiente al ámbito didáctico como si se tratara, esta última, de una actividad de tono menor, con un valor de carácter meramente pedagógico o, en ocasiones,

simplemente manipulativo. Tiene sentido, en este punto, traer a colación la siguiente referencia de Khun (1975):

“En general los filósofos de la ciencia no han discutido los problemas con los que tropieza el estudiante en los laboratorios o en los textos científicos, porque estos son pensados para proporcionar sólo práctica en la aplicación de lo que el estudiante ya sabe. El no puede, se dice, resolver problemas a menos de que primero aprenda la teoría y algunas reglas para aplicarla. El conocimiento científico está enclavado dentro de teoría y reglas; los problemas son proporcionados para lograr destreza en su aplicación. Sin embargo, ..., esta localización del contenido cognoscitivo de la ciencia es errónea. Después que el estudiante ha resuelto muchos problemas, él sólo gana mayor destreza para resolver más. Pero al principio y después de algún tiempo, el resolver problemas es el saber cosas consecuentes sobre la naturaleza. En ausencia de tales ejemplares, las leyes y teorías que con anterioridad ha aprendido podrían tener poco de contenido empírico” (p. 287).

Es evidente que, en sentido estricto, una teoría física, en tanto que cuerpo organizado, formalizado y coherente de conocimientos, no puede ser elaborada por el estudiante, pero lo que parece relativamente claro es que éste debe construir, o reconstruir, su significado y el de sus elementos componentes para poder estar en condiciones de desenvolverse con soltura en el marco de conceptos y de operaciones a ella asociado. La resolución de problemas constituye, en un contexto tanto científico como didáctico, una tarea insustituible para lograr esa construcción o reconstrucción de significado, o si se quiere de conocimiento, que el aprendizaje y la propia actividad científica suponen pues, en definitiva, y como ha anticipado Khun(1975), *“Naturaleza y palabras son aprendidas simultáneamente”* (p. 292).

Se desprende de lo anterior, y en el plano básicamente cognitivo, una analogía —sugerida con anterioridad por diferentes autores— entre el trabajo del físico y el trabajo del estudiante de Física, que es más estrecha de lo que podría deducirse de un análisis su-

perfidial. Ante una tal situación no es, por tanto, de extrañar que los psicólogos del conocimiento hayan considerado la resolución de problemas de Física en un contexto académico, como un área de investigación especialmente relevante por sus virtudes en tanto que modelo suficientemente simple y, a un tiempo, razonablemente rico. Tampoco los especialistas en inteligencia artificial, interesados en la simulación del razonamiento humano, desde sistemas informáticos, han ignorado el potencial heurístico que podría derivarse de la construcción de sistemas expertos operando en el ámbito de la resolución de este tipo de problemas.

Del cuadro anteriormente descrito emerge el problema de la resolución de problemas en Física como una cuestión directamente vinculada con el conocimiento científico y con su construcción y, por ende, susceptible de ser abordada desde una perspectiva multidisciplinaria. Epistemología, Ciencia, Psicología Cognitiva, Ingeniería del conocimiento y, finalmente, Educación Científica se dan cita en torno a dicho problema. La perspectiva de la Educación Científica asume, al menos en parte, algunas componentes de esas otras "compañeras de viaje", aun cuando su meta final sea mejorar las condiciones y el resultado de los procesos de enseñanza/aprendizaje científicos. Este también ha sido, en un sentido amplio, el propósito último de la investigación que aquí se describe.

En un sentido más restringido, el objetivo inmediato de la presente investigación ha sido el explorar, con una cierta base empírica, algunas de las relaciones existentes entre la organización del conocimiento en la memoria del estudiante y su efectividad en la resolución de problemas de Física. Preguntas tales como ¿qué influencia ejercen los mapas conceptuales en la estructura conceptual del sujeto?, ¿constituyen los mapas conceptuales, en tanto que recurso para organizar jerárquicamente el conocimiento, una herramienta adecuada para mejorar la efectividad en la resolución de problemas de Física?, ¿qué papel desempeñan en esa supuesta relación las diferencias individuales?, ¿qué diferencias existen entre los buenos y los malos resolventes en cuanto a la forma de organizar el conocimiento y de utilizarlo?, ¿y entre los buenos resolventes y los sujetos expertos? han constituido el elemento tractor de la investigación empírica. Y junto a ello, hemos pretendido aportar una cierta base teórica —con elementos en ocasiones de revisión bibliográfica y en ocasiones de producción personal— que esperamos

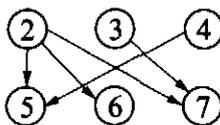
procure al lector algo de esa agradable sensación de confort que proporcionan aquellos libros que no dan casi todo por sabido.

Así, hemos organizado la presente monografía en dos partes cuya diferenciación no se hace explícita en el texto. La primera comprende los capítulos 2, 3 y 4 cuya lectura facilitará una base conceptual suficiente como para enmarcar los estudios de carácter empírico, sus resultados, sus análisis y su discusión. En el capítulo 2 el lector encontrará la referencia a algunos de los aspectos de la organización del conocimiento que más interesan a la enseñanza/aprendizaje científicos; la descripción y el análisis de la metáfora del conocimiento como estructura reciben, en este capítulo, una atención especial. En el capítulo 3 se revisan los principales estudios comparativos del comportamiento de los expertos frente al de los novatos en la resolución de problemas de Física. En el capítulo 4, por su parte, se plantea y describe la influencia de las diferencias individuales sobre distintos aspectos de la Educación Científica que conciernen, todos ellos, a la resolución de problemas, ya sea como objeto de investigación ya sea como tarea escolar.

Los estudios empíricos constituyen, globalmente considerados, la parte segunda de la monografía y comprenden los capítulos 5, 6 y 7, correspondiendo, cada uno de ellos, a un estudio diferente. El Estudio I (capítulo 5) analiza la influencia de la organización del conocimiento conceptual en los alumnos –promovido mediante la construcción de mapas conceptuales a modo de tratamiento– sobre la efectividad en la resolución de problemas de Física, cuando se controla la dimensión dependencia/independencia de campo del estilo cognitivo en tanto que exponente psicológico de las diferencias individuales. En el Estudio II (capítulo 6) se analiza la influencia del anterior tratamiento en la estructura cognitiva (de tipo asociativo) del sujeto, elucidada mediante la técnica de los tests de asociación de palabras. En el Estudio III, y utilizando la información contenida tanto en los protocolos verbales de los alumnos –registrados mediante la técnica “thinking aloud”– como en los mapas conceptuales elaborados por los propios alumnos al hilo del proceso de resolución, se profundiza en la caracterización de la representación del conocimiento en los buenos resolventes frente a la de los malos resolventes y frente a la de los sujetos expertos.

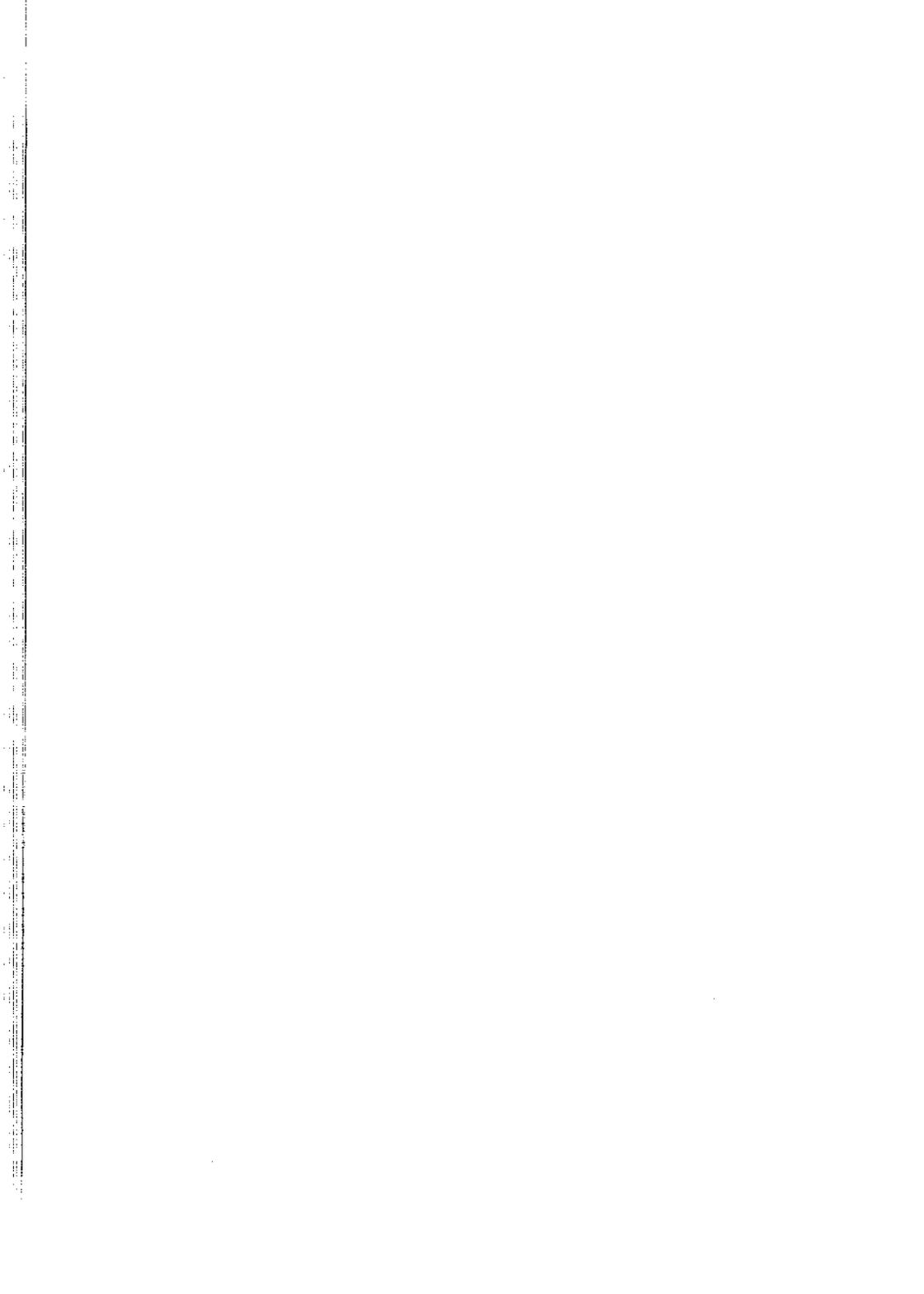
Aun cuando los diferentes capítulos pueden ser leídos, ya sea en el orden establecido ya sea de modo independiente, aquellos lectores que deseen combinar análisis teórico y estudio empírico pueden guiarse por el siguiente diagrama de grafos

CAPITULO TEORICO



CAPITULO EMPIRICO

Finalmente, queremos destacar el hecho de que para dar respuesta a las preguntas planteadas hayamos recurrido, deliberadamente, a diferentes metodologías de investigación que han proporcionado, en último término, una información variada y complementaria. La pretensión de exclusividad, habida en el ámbito de la Educación Científica, tanto entre los partidarios de la investigación cualitativa como entre los partidarios de la cuantitativa —probablemente como consecuencia de compromisos metafísicos diversos y enfrentados—, no puede sostenerse ni desde la filosofía de la ciencia ni desde la propia ciencia madura. Desearíamos con la presente investigación haber contribuido también, siquiera fuera mínimamente, a mostrar, sobre un ejemplo práctico, la fecundidad de esa pluralidad metodológica que resulta tan necesaria para el progreso del conocimiento científico.



CAPITULO 2

ORGANIZACION DEL CONOCIMIENTO Y APRENDIZAJE CIENTIFICO

1. Introducción

La forma en la que el conocimiento se estructura, se utiliza, o se organiza, constituye un problema fundamental, no sólo para la Psicología cognitiva actual sino también para las teorías, o perspectivas teóricas, sobre el aprendizaje científico. El desplazamiento del interés hacia el contenido específico del conocimiento experimentado por la Psicología del pensamiento la acerca a los dominios propios de la Educación científica, preocupada por las cuestiones relativas al conocimiento científico y a su transmisión.

Con cierta frecuencia se recurre al término **estructura cognitiva** para designar esa articulación del conocimiento conceptual que se hace patente por el simple hecho de que los elementos del conocimiento se manifiesten relacionados entre sí. En el título del presente capítulo, al igual que en el de la monografía, hemos puesto, sin embargo, el acento en la idea de organización frente a la de estructura, esencialmente, porque aquélla hace referencia a un concepto más general capaz de adecuarse mejor a esa realidad tan compleja que constituye el conocimiento científico tal y como se genera, se almacena, se usa o se transforma en la mente de los estudiantes al hilo de las diferentes situaciones de aprendizaje. En un sentido semejante se pronuncia Rivière (1987) cuando, en un contexto propio de la Psicología Cognitiva, afirma:

“para el intento de caracterización global de la Psicología cognitiva he elegido el término “formas de organización” porque a este nivel podemos sacar provecho de su propia ambigüedad. Otros términos, como “estrategias”, “estructuras”, “reglas”, “esquemas”, “procedimientos”, “operaciones”, etc. nos comprometerían excesivamente con subparadigmas específicos o niveles específicos de descripción. Y, en definitiva, todos esos términos hacen referencia a formas de organización cuya justificación proviene de su capacidad para dar cuenta de regularidades de conducta que nos obligan a recurrir a algo que influye “desde dentro hacia afuera” (y no sólo en la dirección inversa) en la regulación del comportamiento” (pp. 26-27).

Como en el resto de los capítulos de corte teórico, el presente ha sido escrito teniendo en cuenta su función de marco respecto de los posteriores estudios empíricos. Así, no hemos pretendido en ningún momento ser exhaustivos en su tratamiento y la propia extensión variable de sus diferentes apartados constituye un reflejo del interés que presenta cada uno de ellos en orden a facilitar el análisis y la discusión de nuestros propios resultados.

2. Conocimiento declarativo vs. Conocimiento procedimental

Filósofos, psicólogos cognitivos y especialistas en educación con el propósito de introducir un poco de orden en el complejo mundo del conocimiento humano recurren, con frecuencia, a una distinción entre, al menos, dos tipos de conocimiento: el *conocimiento declarativo* y el *conocimiento procedimental*. Tal distinción, que plantea con otros términos la diferencia establecida con anterioridad por Ryle (1949) entre “conocer qué” y “conocer cómo”, ha sido considerada, de hecho, como una pieza clave para la comprensión de diferentes aspectos del aprendizaje científico en general y de la resolución de problemas en particular (Gagné, 1980; Frede-

riksen, 1984; Greeno, 1980, 1978; Larkin, 1980a; Shuell, 1985; White, 1985, West et al, 1985).

El conocimiento declarativo, denominado por algunos conocimiento verbal (Gagné, 1980) o conocimiento proposicional (Greeno, 1978), incluye desde términos o palabras hasta cuerpos de conocimiento organizados. Champagne et al (1985) atribuyen al conocimiento declarativo en un dominio específico como el de la Física los siguientes elementos componentes: **hechos**, tales como el que la aceleración de la gravedad a nivel del mar valga $9,8 \text{ m/s}^2$; **conceptos**, como la noción de masa; **proposiciones**, o enunciados tales como definiciones, principios y leyes; y **teorías**, en tanto que cuerpos de conocimiento más complejos.

Frente a este tipo de conocimientos que no suponen la realización de tareas se sitúa el conocimiento procedimental como otra forma, en principio, notablemente diferente del anterior. En su acepción, ya clásica, el llamado conocimiento procedimental hace referencia a un conjunto de destrezas o habilidades que permiten al individuo desarrollar procedimientos para la realización de una tarea ya sea intelectual ya sea psicomotora (Shuell, 1985). Cuando un individuo dispone de conocimiento procedimental sabe hacer algo; cuando sólo dispone de conocimiento declarativo, a lo más, puede hablar de ello.

Algunos teóricos de las destrezas intelectuales han identificado ciertos principios característicos del conocimiento procedimental que permiten mejorar la descripción de este tipo de conocimiento. Greeno (1978) los sintetiza en tres:

- 1) Cada componente de una destreza intelectual consiste en una regla de producción compuesta por una pareja condición-acción. El conjunto de reglas de producción constituye un sistema de producción. La ejecución del sistema o, lo que es lo mismo, la aplicación de un procedimiento supone poner a prueba el conjunto de condiciones disponibles y, si alguna se satisface, desarrollar la acción correspondiente.
- 2) El conocimiento procedimental lleva consigo el proceso de definir metas a partir de un conocimiento estratégico que es el que permite al sujeto advertir cuál es la etapa siguiente.

- 3) La adquisición del conocimiento procedimental supone práctica o entrenamiento. Mediante ellos se consigue integrar algunas destrezas elementales en un sistema jerárquico de procedimientos más complejos. Aunque el mecanismo de este proceso de integración no se conoce bien, resulta evidente la importancia que adquiere el aprendizaje de tareas elementales que constituyen la base de esas destrezas de bajo nivel.

Aun cuando la distinción entre estos dos tipos de conocimiento es compartida por los especialistas en ciencia cognitiva y por los expertos en inteligencia artificial (Sierra Pazos, 1987), algunos autores han sugerido que no es ésta una distinción útil (Sutton, 1980) ya que *“las acciones en los individuos –al interactuar con el mundo natural como observadores experimentados o resolviendo problemas– están influenciadas por sus estructuras conceptuales”* (Driver et al, 1983 p. 39).

Las relaciones entre el conocimiento declarativo y el procedimental constituyen una cuestión de especial interés tanto desde la perspectiva teórica propia del aprendizaje científico como desde la práctica característica de la enseñanza. Y ello es así porque el conocimiento científico tiene una importante componente procedimental que se manifiesta, particularmente, en la resolución de problemas pero que impregna toda la actividad científica. En este orden de ideas Di Sessa (1979) señala lo siguiente:

“Considérese la comprensión que un experto puede tener de la Física, por ejemplo. Pregúntesele por un concepto y obsérvese la forma de su respuesta. El paradigma es que genera una situación en la cual se puede observar la acción del concepto, o genera un proceso que involucra al concepto... Del mismo modo, nuestro experto raramente contesta en términos formales; ni explica de dónde se puede deducir la idea ni lo qué se consigue de ella por deducción. “Fuerza” se explica con más frecuencia en términos de su función, como la interacción entre partículas que, en caso de ser conocidas, permite calcular el movimiento. Uno oye con menos frecuencia (excepto desafortunadamente en el contexto de una asignatura típica de

Física) enunciados precisos pero formales, como "Fuerza es el producto de la masa por la aceleración" (p. 243).

Desde una perspectiva epistemológica, la dureza de una disciplina científica esta relacionada con la cantidad de conocimiento procedimental que dicha disciplina contiene. Una situación análoga se reproduce en el ámbito de la enseñanza/aprendizaje, de modo que, con frecuencia, una asignatura presenta una exigencia intelectual tanto mayor cuanto más abunda en su enfoque el conocimiento procedimental.

Las cuestiones relativas a la naturaleza del conocimiento procedimental en un contexto didáctico y a su conexión con el conocimiento declarativo, los problemas de su evolución o desarrollo y las exigencias de su transmisión esconden tras de sí el núcleo mismo del aprendizaje científico y, probablemente, la explicación a un buen número de "hechos" o "fenómenos" observados en ese ámbito e interpretados, muchas veces, según la orientación de paradigmas diferentes.

3. El conocimiento como estructura

3.1. UNA INSPIRACION GEOMETRICA

A la hora de analizar el conocimiento científico desde un punto de vista fundamentalmente psicológico, diferentes investigadores han recurrido a la noción de estructura como un instrumento conceptual que permite caracterizar la forma en la que aquél se almacena en la memoria humana. Aun cuando en el ámbito de la educación científica diferentes autores (Sutton, 1980; Stewart, 1979) han matizado la naturaleza de esa estructura del conocimiento en la memoria del sujeto, habitualmente denominada *estructura cognitiva*, lo cierto es que se entiende por tal la representación interna de una estructura conceptual formada por un conjunto de conceptos y por sus relaciones mutuas (Preece, 1976, 1978; Shavelson, 1974; Shavelson et al, 1975; Mayer, 1985).

Esta consideración de la organización del conocimiento humano goza de una fuerte **inspiración geométrica**. El carácter rela-

cional de los conceptos, cuyo significado es función del significado de otros conceptos próximos, ha llevado a algunos investigadores a recurrir explícitamente a una analogía de tipo matemático. Así, por ejemplo, Preece (1976) se refiere a dicha analogía en los siguientes términos:

... "los significados de las palabras o de los conceptos se asemejan a puntos matemáticos; tienen de hecho pocas cualidades diferentes de sus relaciones con otros conceptos. Este símil, introducido por White (1967) sugiere tanto la importancia de la noción de estructura cognitiva —el patrón de relaciones entre conceptos en la memoria— como su posible representación mediante modelos geométricos" (p. 1).

Junto con esta alusión explícita al símil, muchos de los términos que aparecen en la literatura hacen referencia a esa misma analogía. Nociones tales como espacio semántico (Preece, 1978), proximidad semántica (Preece, 1978), mapa conceptual (Novak et al, 1984), red semántica (Stewart, 1980) o incluso distancia (semántica) euclidiana (Shavelson, 1972) reposan, más o menos abiertamente, en una geometrización de la organización del conocimiento (Evanechko et al, 1974). Por otra parte, muchos de los métodos empleados en el análisis de la estructura cognitiva del sujeto se inspiran igualmente en dicha analogía (Preece, 1978; Shavelson, 1972; Thro, 1978; Kempa et al, 1983; Gussarsky et al, 1988).

Además de tales resonancias de tipo geométrico, otros dos importantes rasgos —no independientes del anterior, ni independientes entre sí— completan una descripción muy general de una tal conceptualización de la organización del tipo de conocimiento que más interesa al aprendizaje científico, a saber, su carácter esencialmente estático, y su referencia primaria al conocimiento declarativo.

El **carácter estático** de la estructura cognitiva es, en parte, una consecuencia de la inspiración geométrica del modelo. La metáfora de espacio euclidiano que se maneja no hace referencia explícita a la variable tiempo y los métodos que se emplean admiten, en principio, una configuración conceptual fija que puede ser captada, y posteriormente representada, con la ayuda de técnicas en

ocasiones fuertemente matematizadas tales como el análisis factorial, el cálculo de coeficientes de relacionabilidad, de matrices distancia o el "multidimensional scaling" (Thro, 1978).

Aun cuando algunos investigadores se han interesado en explorar, mediante tales técnicas, la estructura cognitiva del sujeto antes y después de la instrucción (Shavelson, 1973; Johnson, 1967; Thro, 1978; Gussarky et al, 1988), predomina en cualquier caso la idea de estructura y, por lo tanto, la imagen de configuración relativamente estable. Por otra parte, el aspecto estático de la estructura cognitiva en este tipo de estudios es, en cierta medida, consecuencia de su carácter a posteriori; se trata, en todos ellos, de evaluar el resultado de lo ya consolidado. Este interés por el producto más que por el proceso nos recuerda la conocida distinción establecida por Reichenbach (1938) en el ámbito epistemológico, entre el contexto del descubrimiento y el contexto de la justificación. El positivismo lógico apostó netamente por el segundo centrandó la atención en la estructura lógica de la ciencia, en su formulación y en el análisis de su consistencia e ignorando el interés por los procesos mediante los cuales el conocimiento se genera. En el ámbito del aprendizaje científico la predilección por captar la estructura cognitiva del alumno como tal estructura, guarda, a primera vista, una cierta analogía con esa orientación de la filosofía de la ciencia. Dicha analogía se convierte, prácticamente, en identidad cuando se compara la concepción de la estructura de las teorías científicas postulada por algunos de los filósofos representantes del empirismo lógico (Brown, 1988) con la imagen de estructura cognitiva en términos de nodos (conceptos) y uniones (relaciones) anteriormente referida. Así, según Hempel (1962),

"Una teoría científica puede ser, por tanto, comparada a una red espacial compleja: sus términos son representados mediante nudos mientras que los hilos que conectan estos últimos corresponden, en parte, a las definiciones y, en parte, a las hipótesis fundamentales y derivadas incluidas en la teoría" (p. 36).

Esta misma idea la reitera en otra de sus obras (Hempel, 1981) en los siguientes términos:

“La sistematización científica requiere el establecimiento de diversas conexiones, mediante leyes o principios teóricos, entre diferentes aspectos del mundo empírico, que son caracterizados por conceptos científicos. De este modo, los conceptos de la ciencia son los nudos de una red de interrelaciones sistemáticas en la que las leyes y los principios teóricos forman los hilos” (pp. 138-139).

No es por tanto de extrañar que en una buena parte de este tipo de trabajos se ponga de manifiesto la preocupación de los autores por comprobar la correspondencia entre la estructura conceptual de la materia (estructura lógica) y la estructura conceptual en la memoria del sujeto (estructura cognitiva o psicológica) (Shavelson, 1972; Thro, 1978; Johnson, 1967).

Sin embargo, la actividad científica de ningún modo se agota en la estructura lógica de la disciplina en cuestión ni en el análisis de sus relaciones internas, sino que los aspectos más ricos y dinámicos de la ciencia hacen referencia a ese ámbito calificado por Reichenbach como el “contexto del descubrimiento” que incluye, desde luego, el contexto sociológico, en términos de variables moduladoras, el de corte conceptual o científico y el estrictamente psicológico, relativo a las características del proceso de creación, el cual resulta difícilmente dissociable de los dos contextos anteriores. De un modo semejante, y ya en el ámbito del aprendizaje científico, la cognición es algo dinámico, rico en influencias de contenidos y de procesos que no pueden agotarse en la idea de estructura. Sin embargo, la orientación del conocimiento como estructura pone el acento en la estabilidad del conocimiento del que aprende; como ha destacado Sutton (1980) el propio Ausubel lo ha hecho explícito al afirmar que los aspectos básicos del aprendizaje del nuevo material son la estabilidad, la claridad y la organización previa del conocimiento existente en el sujeto que aprende (Ausubel et al, 1976).

La tercera nota característica de la referida conceptualización consiste en que maneja esencialmente el **conocimiento declarativo** interesándose, ya sea en los aspectos asociativos de los conceptos (Shavelson, 1974) ya sea a su estructura proposicional (Stewart, 1979). Tal característica resulta perfectamente coherente con las anteriores, en la medida en que es precisamente esa otra forma de

conocimiento, calificado como procedimental, la que asume, en gran parte, los aspectos dinámicos de la organización del conocimiento tales como, la producción de inferencias, el establecimiento de relaciones nuevas o su abandono en busca de otras más adaptadas al contexto concreto en el que el conocimiento ha de ser usado o aplicado, la formulación de hipótesis o el diseño de estrategias de más alto nivel que permiten articular los anteriores componentes y orientarlos hacia una meta definida.

Así, pues, aun a pesar de su reconocido valor heurístico la idea de estructura cognitiva debe ser considerada, en todo caso, como una metáfora, como una aproximación limitada y parcial, so pena de ignorar aspectos claves de la organización del conocimiento humano que configuran tanto la actividad de los científicos como el aprendizaje de los estudiantes. Admitiendo el marco general anteriormente expuesto y sus limitaciones, abordaremos someramente, en lo que sigue, dos orientaciones concretas en la exploración de la estructura cognitiva de los alumnos que resultan de interés en el contexto de nuestra investigación, a saber, los **tests de asociación de palabras** y los **mapas conceptuales**.

3.2. ESTRUCTURA COGNITIVA Y TESTS DE ASOCIACION DE PALABRAS

La conexión natural existente entre psicología educativa y educación científica ha dado lugar a que desplazamientos de los focos de atención de la investigación ocurridos en el ámbito psicológico se hayan propagado hasta el contexto de la enseñanza y el aprendizaje científicos. Tal es el caso de la reorientación de los estudios sobre el pensamiento humano que ha supuesto un corrimiento del interés por la forma al interés por el contenido o, en palabras de Pozo (1987), de la sintaxis a la semántica. Dicha reorientación—considerada por algunos como un efecto de arrastre inducido por un fenómeno similar planteado con anterioridad en el ámbito de la ingeniería del conocimiento y de las ciencias de la computación— se traduce, en el ámbito de la educación científica, en un interés por captar la representación del conocimiento en la memoria de los alumnos. En este contexto pueden encuadrarse los trabajos de Shavelson (1971, 1972, 1973, 1974, 1975) que se inspi-

ran en los pioneros de Johnson (1964, 1965, 1967, 1969) y que a través de una cadena aproximadamente continua (Preece, 1976, 1978; Thro, 1978; Gunstone, 1980; Moreira et al, 1981; Moynihan, 1981, 1982; Kempa, 1983, 1986; Johnstone, 1985; Gorodetsky et al, 1986; Gussarsky et al, 1988) conectan con estudios y con líneas de investigación relativamente recientes, como la interpretación de Novak del paradigma ausubeliano (Novak, 1982) o incluso como el movimiento de las "concepciones alternativas" (Gilbert et al, 1985).

Una buena parte de estos investigadores tienen, básicamente, en común su interés por explorar la estructura cognitiva de los alumnos en su dimensión asociativa. De acuerdo con Shavelson (1971):

"La estructura cognitiva queda definida mediante el método de asociación de palabras. El supuesto subyacente consiste en considerar que el orden de respuestas recuperadas de la memoria a largo plazo refleja, al menos, una parte significativa en la estructura intra e inter conceptual" (p. 6).

En este mismo orden de ideas Thro (1978) introduce la precisión terminológica de "estructura asociativa" frente a la más genérica de estructura cognitiva en los siguientes términos:

"La estructura asociativa hace referencia al patrón de relaciones entre conceptos establecidos en la memoria a largo plazo. Las asociaciones de palabras se suponen derivan, en todo o en parte, de las estructuras cognitivas en la memoria semántica" (p. 971).

Este conjunto de investigadores, cuyos primeros representantes fueron calificados en su momento por Strike y Posner (1976) como los "associative mappers", emplean como herramienta fundamental para la elucidación de la estructura cognitiva del sujeto los tests de asociación de palabras. Se trata ésta de una técnica de carácter psicológico (Deese, 1962) que, aplicada al ámbito de educación científica, consiste en presentar un término o "palabra estímulo", relativo a un concepto científico determinado y soli-

citar del sujeto que escriba a continuación todas las palabras, relacionadas con la primera, que sea capaz de recuperar en un intervalo de tiempo limitado (un minuto, por ejemplo). A partir de las listas de palabras generadas sobre un repertorio conceptual inicial de "palabras estímulo" el investigador puede considerar como medidas de asociación conceptual las siguientes cantidades (Shavelson, 1974):

- a) El número total de "palabras respuesta" para cada "palabra estímulo".
- b) El valor medio de los anteriores para una colección de "palabras estímulo" determinada.
- c) El número de "palabras respuesta" que figuran en la lista y que satisfacen una determinada condición, como por ejemplo, las "palabras respuesta" que están relacionadas con la "palabra estímulo" mediante alguna ecuación o cadena de ecuaciones.
- d) El grado de solapamiento de las listas de "palabras respuesta" para cada par de conceptos o de "palabras estímulo".

Los esfuerzos de Shavelson (Shavelson, 1974, 1975) por validar la técnica de los tests de asociación de palabras como medida de la estructura cognitiva se dirigieron, esencialmente, al marco conceptual proporcionado por la Física. Así, se ha observado una cierta correspondencia entre la estructura de contenido de la disciplina y la estructura cognitiva (asociativa) de los alumnos. Se ha podido correlacionar significativamente el efecto del aprendizaje en Física con un aumento en la densidad de la estructura asociativa; se ha encontrado una relación positiva entre número de "palabras respuesta" y rendimiento en Física; se ha comprobado la convergencia de diferentes medidas de la estructura cognitiva recurriendo al análisis del comportamiento de expertos, etc... Todo ello ha llevado a Shavelson y a otros investigadores a concluir que existe suficiente evidencia empírica como para soportar la hipótesis de que la técnica de asociación de palabras *"mide algunos aspectos de la estructura cognitiva de los estudiantes"*.

Frente a esta valoración positiva de la técnica y del constructo psicológico correspondiente, cabe destacar las críticas de Strike y Posner (1976) y, particularmente, las de Stewart (1979) las cuales

han sido, a su vez, calificadas de estridentes por otros investigadores (Fensham et al, 1981). El hilo conductor del rechazo de Stewart respecto de los trabajos de los "associative mappers" estriba en la imposibilidad de captar, mediante los tests de asociación de palabras y sus técnicas anejas, el contenido proposicional de la estructura cognitiva y, por tanto, el valor de verdad de las relaciones que se manejan. Para aclarar esta afirmación recurriremos a un ejemplo planteado por el propio Stewart (1979). Supongamos que dos alumnos sometidos a un test de asociación de palabras escriben ambos debajo de la "palabra estímulo" *trabajo*, las "palabras respuesta" *fuerza y distancia*. Tales resultados idénticos no implican que la dimensión de significado de la estructura cognitiva de dichos alumnos sea la misma. La relación podría ser, en algún caso, del tipo $distancia = trabajo \times fuerza$, o del tipo $fuerza = distancia - trabajo$, por ejemplo, en vez de la verdadera relación $trabajo = fuerza \times distancia$ y estas importantes diferencias semánticas no se reflejarían en las correspondientes diferencias asociativas. Según Strike y Posner, con estos procedimientos "no queda claro de qué cosa se está representando su estructura" (Strike y Posner, 1976 p. 125). Finalmente, y a pesar de la vinculación, declarada explícitamente por los "associative mappers", al paradigma del procesamiento de la información (ver por ejemplo Shavelson, 1974, 1975) Stewart (1980) termina por arrojarlos a la "prehistoria" de las teorías del aprendizaje, al afirmar abiertamente que "el procesamiento humano de la información es una posición cognitivista, frente a la posición de los 'associative mappers' la cual puede ser considerada como asociacionista o conductista" (p. 223).

Como hemos señalado en otro lugar (López Rupérez, 1989a), este ataque dialéctico de Stewart deja al descubierto uno de los problemas que se presentan en la investigación sobre la Educación Científica, a saber, la falta de teorías interpretativas sólidas que sirvan de puente entre el nivel de lo supuestamente real y el nivel de las construcciones teóricas jerárquicamente superiores. Las objeciones planteadas por el padre Clavius a los resultados de las observaciones astronómicas efectuadas por Galileo a través de su recién descubierto telescopio —en el sentido de no existir razones suficientes como para admitir que las imágenes observadas por Galileo en su telescopio existieran fuera de él sino que serían más bien un artefacto de las lentes (Drake, 1980)— presentan algunas

características similares (López Rupérez, 1990) y apuntan al problema fundamental de la naturaleza de lo considerado como observacional en el marco de una teoría de orden superior (Lakatos, 1976).

Que las técnicas de asociación de palabras tienen una validez limitada en orden a elucidar la estructura cognitiva del sujeto, es un hecho cierto que es reconocido explícitamente por los propios "associative mappers". Que la conexión proposicional de dos conceptos en términos de verdadero o falso añade significado a la mera asociación de términos, la cual no hace explícita la naturaleza de dicha asociación, es también claro, como lo es, a su vez, el carácter parcial de ese enfoque estático que subyace a la idea de conocimiento como estructura. Sin embargo, la significativa aportación de los "associative mappers" ha demostrado que las técnicas de asociación de conceptos constituyen una forma aceptable de aproximarse a la estructura cognitiva del sujeto siempre que se tengan presentes sus limitaciones y no se pretenda obtener de ellas más de lo que por sí mismas pueden ofrecer.

3.3. ESTRUCTURA COGNITIVA Y MAPAS CONCEPTUALES

La asimilación del conocimiento humano a una estructura espacial de tipo euclidiano ha dado lugar a la representación, en términos gráficos, de dicha estructura mediante esquemas bidimensionales o mapas. En el ámbito de la Educación Científica el interés por este tipo de representaciones es múltiple. En primer lugar la consideración del conocimiento previo del sujeto como una importante variable del aprendizaje ha estimulado considerablemente la aplicación de este tipo de herramientas; en el marco estricto de la teoría de Ausubel como recurso didáctico y medio de ayuda al estudio (Novak et al, 1984); en el de las preconcepciones, o marcos alternativos, como instrumento para caracterizarlas o para identificar componentes de ese conocimiento previo que pueden interferir negativamente con la instrucción (Champagne et al, 1981; Furio, 1986). En segundo lugar, la reconocida influencia del conocimiento conceptual en la resolución de problemas ha hecho de dichos mapas un recurso para identificar diferencias en la estructura cogniti-

va de buenos y malos resolventes (Kempa, 1983, 1986; Chi et al, 1982; ver capítulo 7); pero además, como es el caso del Estudio I de la presente investigación, pueden ser utilizados como tratamiento didáctico para, procurando mejorar la organización del conocimiento conceptual, intentar influir positivamente en la efectividad en la resolución de problemas de Física.

3.3.1. Un intento de clasificación

Puede encontrarse en la literatura una considerable variedad de esta forma de representación del conocimiento que ha sido obtenida empleando, a su vez, una relativamente amplia gama de procedimientos o técnicas (Sutton, 1980; Preece, 1978). Es posible, sin embargo, sistematizar dicha colección de tipos de mapas recurriendo a dos criterios de clasificación que pueden enunciarse en forma interrogativa en los siguientes términos: ¿qué se pretende representar con ellos?, ¿cuál es su contenido?

En relación con el primer criterio los mapas pueden pretender reflejar bien la **estructura de la disciplina**, bien la **estructura cognitiva** del sujeto. Esta división, que alude, respectivamente, a la componente lógica y a la componente psicológica del conocimiento científico, se manifiesta tanto en la naturaleza de las publicaciones en las que se describen este tipo de representaciones como en sus referencias internas. Así, las primeras suelen ser publicadas en revistas de ciencia y frecuentemente contienen indicaciones, comentarios o análisis de naturaleza epistemológica; tal es el caso de los trabajos de Karplus (1981) o de Tisza (1963), por ejemplo. Las segundas, por su parte, son publicadas, por lo general, en revistas de educación científica e incluyen indicaciones, comentarios o análisis de corte psicológico.

No obstante, el hecho de que la estructura lógica de la disciplina constituya un componente esencial de la instrucción científica explica el que, con alguna frecuencia, representaciones de la estructura de la disciplina aparezcan también en revistas de este último tipo. Tal circunstancia nos recuerda que la anterior división tiene, como otras, un valor meramente aproximativo e instrumental, ya que, en última instancia, la estructura lógica de la disciplina no de-

ja de ser una estructura cognitiva que goza, eso sí, del beneficio de la intersubjetividad. Como ha señalado Shavelson (1974):

“La estructura de una disciplina, finalmente, reside en las mentes de los «grandes científicos. Esta estructura es comunicada a través de sus escritos en revistas y textos avanzados así como a través de canales informales de comunicación” (p. 232).

El segundo criterio permite encuadrar los mapas, al menos, en tres categorías, los de contenido estrictamente **conceptual**, los de contenido **conceptual/proposicional** y los de contenido estrictamente **proposicional**. A modo de ejemplo diremos que las representaciones de la estructura cognitiva obtenidas mediante técnicas de asociación de palabras se incluyen en el primer grupo, en tanto que las obtenidas a través de entrevistas clínicas u otras técnicas sensibles a la elucidación del significado, forman parte del segundo o del tercer grupo.

La tabla 2.1 recoge una muestra significativa (no exhaustiva) de referencias bibliográficas sobre mapas conceptuales que han sido clasificados de acuerdo con las seis categorías que resultan de

TABLA 2.1.: Clasificación de los mapas conceptuales con relación a un doble criterio: naturaleza del mapa y objeto o finalidad de la representación.

OBJETO NATURALEZA	ESTRUCTURA DE LA DISCIPLINA	ESTRUCTURA COGNITIVA DEL SUJETO
Estrictamente conceptual	Tisza (1964) Karplus (1981) López Rupérez (1987)	Shavelson (1972, 1974) Preece (1976) Kempa et al. (1983) Gussarky et al. (1988) Johnstone et al. (1985) Matthews et al. (1984a, b, c, 1985)
Conceptual/ Proposicional	Stewart et al. (1979) Novak et al. (1984)	Champagne et al (1981) Stewart (1980) Stuart (1985) Novak et al. (1983, 1984)
Estrictamente Proposicional	Cook (1985)	

cruzar los dos criterios anteriormente expuestos. El hecho de que el capítulo 2 del libro de Novak et al. (1984) figure tanto en la casilla correspondiente a la disciplina como en la correspondiente al sujeto, refleja la reconocida dualidad del mapa conceptual que puede ser empleado, bien como una herramienta de enseñanza –en cuyo caso reflejaría, básicamente, la estructura de la disciplina o de una parte de la misma (“subject-matter structure”)– bien como un recurso para elucidar la estructura cognitiva de los estudiantes.

3.3.2. Las redes semánticas y los mapas tipo Novak

Dentro de este extenso repertorio de mapas conceptuales, y considerando los intereses derivados de nuestra propia investigación empírica, centraremos, en lo que sigue, la atención en dos clases de mapas conceptuales: las redes semánticas y los mapas tipo Novak.

Las **redes semánticas** constituyen representaciones o modelos de la forma en que la información conceptual puede ser almacenada en la memoria a largo plazo. Como tales modelos, se insertan dentro del paradigma del procesamiento de la información y conciernen a todo tipo de conocimiento con alguna carga semántica (Norman et al, 1975; Linsay et al, 1977; Rumelhart et al, 1977; Atkin, 1977; Vega, 1984). Tal y como su nombre indica, consisten en auténticas redes cuyos nodos son conceptos, etiquetados mediante los términos correspondientes, y cuyos hilos son las uniones entre ellos, en las cuales la conexión de tipo proposicional se hace explícita. La figura 2.1 muestra un ejemplo sencillo de red semántica. Shavelson (1974), citando a Frijda (1972), resume las principales características de una red semántica en los siguientes términos:

- a) Una estructura relacional que une los nodos mediante tipos de relaciones específicas.
- b) Un cierto matiz jerárquico que se traduce en el hecho de que un nodo puede representar, a su vez, un conjunto de nodos.
- c) Una estructura de información, implícita en el sistema de uniones, que conecta directa o indirectamente los nodos entre sí.

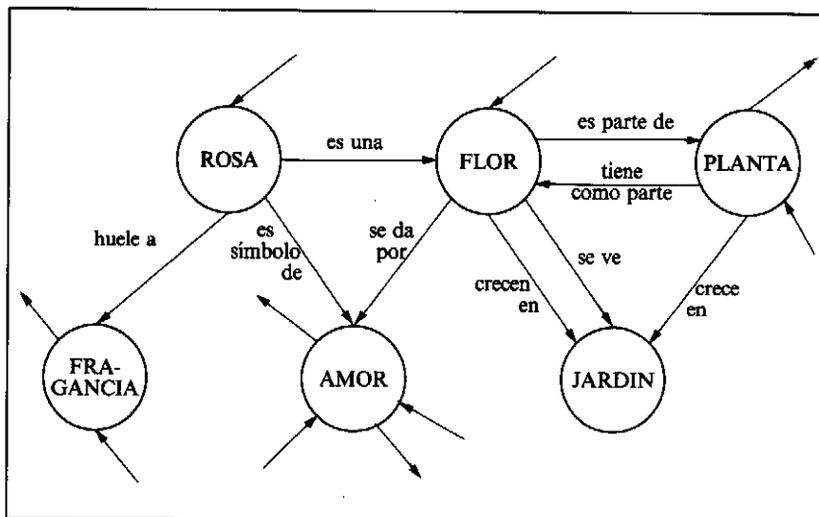


FIGURA 2.1.: Ejemplo de un primer tipo de red semántica (adaptado de Fridja, 1972, p. 4), en el cual se hacen explícitos tanto los conceptos, a modo de nodos, como la conexión entre ellos en términos proposicionales.

Este carácter relacional de los conceptos —según el cual desaparece, en un sentido estricto, la distinción axiomática entre conceptos primitivos y conceptos derivados, desde el momento en que cada concepto gana significado, o lo adquiere plenamente, en su relación con otros conceptos— ha sido reivindicado también desde un ámbito epistemológico para la estructura conceptual de las Ciencias Físicas (Titza, 1963). En este mismo orden de ideas, la estructura cognitiva representada por una red semántica ha sido comparada con un diccionario en el que cada ítem se relaciona con otros ítems contenidos en el propio diccionario (Collins et al, 1972).

Un tipo particular de redes semánticas (Stewart et al, 1982), que incluyen mayor contenido semántico que las anteriores, se representa en la figura 2.2. En ellas se establece una distinción entre los conceptos propiamente dichos, las propiedades que se aplican a dichos conceptos y los ejemplos o instancias del concepto que completan su significado. Así, la noción de **compuesto polar** se organiza en torno a los conceptos <compuestos> y <electrones>

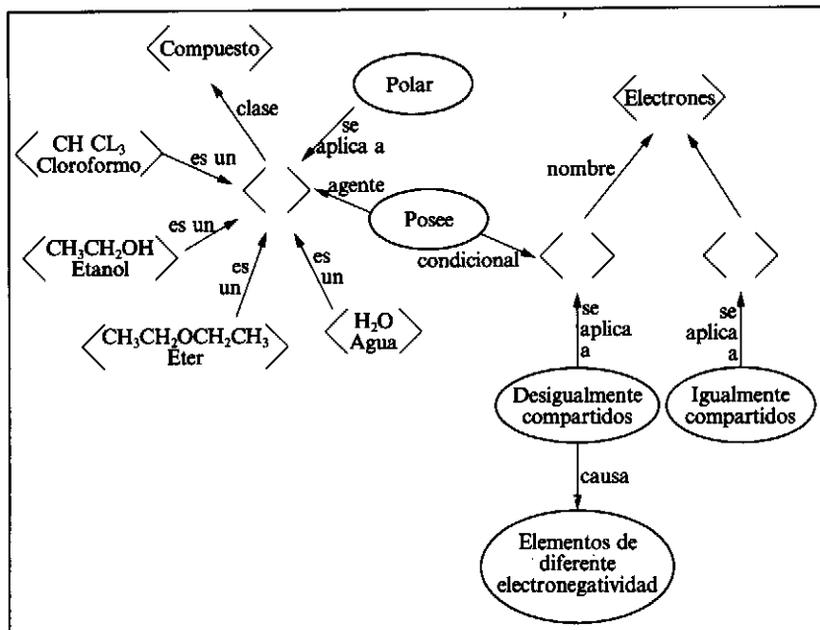


FIGURA 2.2.: Ejemplo de un segundo tipo de red semántica. Constituye una representación del conocimiento conceptual de un individuo sobre la noción de compuesto polar. (Adaptado de Stewart y Atkin, 1982). Los corchetes representan ejemplos de conceptos genéricos, en tanto que los óvalos corresponden a propiedades que se aplican a otros nodos de la red.

cada uno de los cuales se ven especificados por algunos atributos, tales como su carácter polar para el primero o el estar desigualmente compartidos en un elemento dado para el segundo; tales estructuras parciales se conectan entre sí para precisar el significado de compuesto polar, el cual es además reforzado por una colección de ejemplos. En uno y otro caso la construcción de las redes semánticas es efectuada por el investigador sobre la base del análisis del contenido de protocolos verbales obtenidos, ya sea a partir de entrevistas clínicas (Stewart et al, 1982; Stewart, 1980) ya sea a partir de otros procedimientos de elucidación de la estructura cognitiva del sujeto (Chi et al, 1982).

Los mapas conceptuales tipo Novak constituyen un claro ejemplo de aproximación de tales técnicas a las ideas de Ausubel

sobre el aprendizaje científico, las cuales han sido reconocidas como claras impulsoras de la aplicación de aquéllos al ámbito de la educación científica (Preece, 1978); de hecho Novak (1976) fue de los primeros en emplear el término "mapa conceptual" para referirse a este tipo de representaciones cognitivas. Junto a la recomendación efectuada por Novak et al (1983) de que sean los alumnos y no los investigadores los que construyan directamente sus propios mapas conceptuales, la diferencia esencial entre un mapa conceptual tipo Novak y un mapa conceptual tipo red semántica estriba, básicamente, en su particular carácter jerárquico que es forzado por el procedimiento de construcción.

De acuerdo con Novak et al (1983):

"Los mapas conceptuales pueden ser construidos de diferentes maneras. Un método simple consiste en proporcionar a los estudiantes una lista de conceptos relacionados y hacer que construyan un mapa situando el concepto más inclusivo, más general, en la parte superior e incorporando sucesivamente los conceptos menos inclusivos en posiciones jerárquicamente más bajas (ver figuras 2.3 a y b). Los estudiantes deben decidir por sí mismos, cómo representar jerárquicamente los conceptos lo mejor posible, así como las palabras que deben usar para relacionarlos entre sí. Otro procedimiento consiste en hacer que los estudiantes identifiquen conceptos clave en un texto y a continuación utilizar tales conceptos para formar un mapa jerárquico" (p. 626).

Esta disposición fuertemente jerarquizada de los conceptos en el mapa constituye, de hecho, la aportación específica de este tipo de mapas conceptuales; como el propio Novak (Novak et al, 1983) reconoce, los "mapas conceptuales han sido descritos en la literatura durante un cierto número de años pero ninguno de esos trabajos previos se basaron en la teoría del aprendizaje de Ausubel" (p. 629).

Prescindiendo, por el momento, de lo relativo a la contrastación empírica de la utilidad de los mapas conceptuales en tanto que instrumento didáctico, desde un análisis de carácter teórico —o metateórico— sobre su naturaleza y sus principios de construcción

se derivan un conjunto de observaciones y de críticas, algunas de las cuales serán planteadas en lo que sigue:

- a) Las fuertes restricciones a las que se ven sometidos los alumnos en la construcción del mapa entran en conflicto con la espontaneidad del pensamiento del alumno de modo que, como ha señalado Brumby (1983), *"no captan el pensamiento de los estudiantes que se produce cuando desarrollan sus propios mapas"* (p. 10). Nuestra experiencia indica que esta dificultad es señalada con frecuencia por los estudiantes cuando trabajan sobre dominios de contenido suficientemente amplios y formalizados. En este sentido, los mapas conceptuales tipo Novak se alejan de algunas

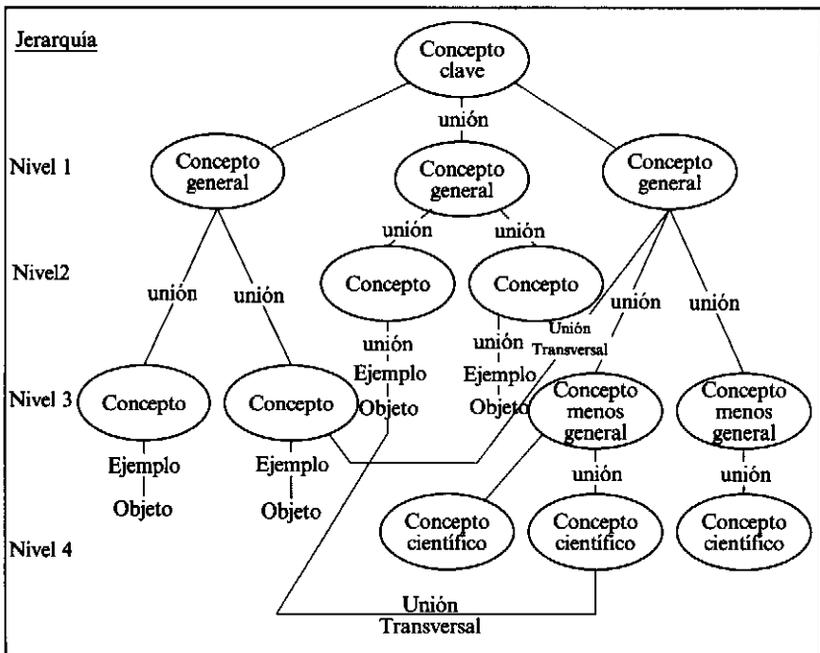


FIGURA 2.3a.: Representación de un modelo genérico de mapa conceptual tipo Novak (Adaptado de Novak et al., 1984). En él se señalan sus elementos fundamentales y se destaca su estructura jerárquica.

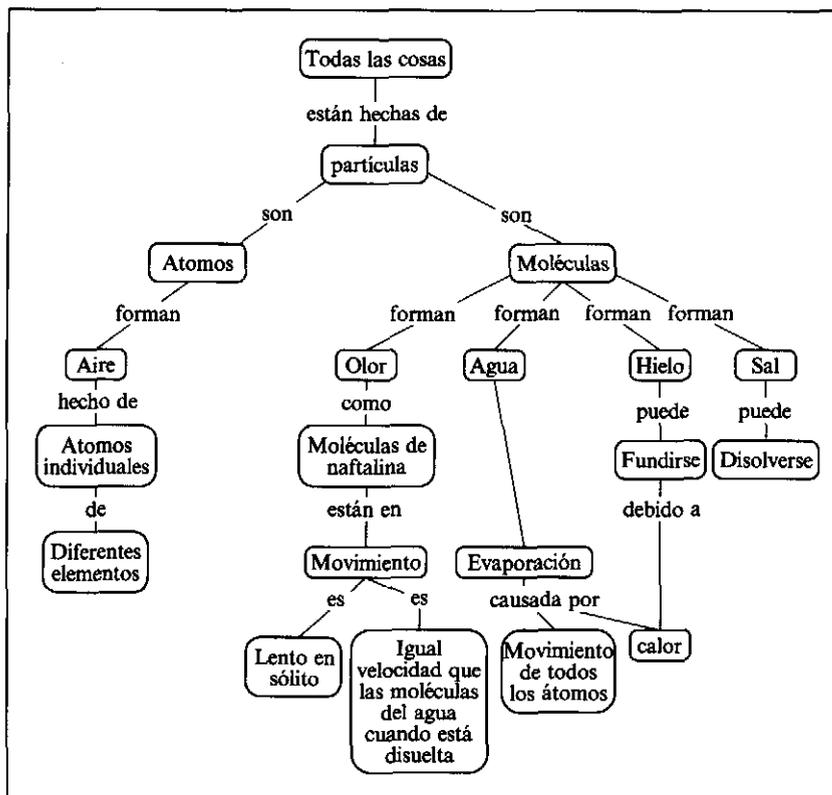


FIGURA 2.3b.: Representación de un mapa conceptual tipo Novak concreto que corresponde a la estructura conceptual de un estudiante de grado 12 en el sistema americano obtenida a partir de una entrevista clínica (Adaptado de Novak, 1988).

de las características de las redes semánticas. De acuerdo con Shavelson (1974) "Estas representaciones son pragmáticas en el sentido de que la estructura de la memoria de trabajo corresponde aproximadamente a la secuencia de la tarea" (p. 235). Por su parte Stewart (1980) a propósito del procedimiento de ordenación de los conceptos en un mapa semántico, se pronuncia en los siguientes términos: "La disposición espacial de los conceptos puede ser modificada por razones logísticas una vez el mapa ha sido construido" (p. 231).

- b) La jerarquización impuesta a los mapas conceptuales reduce su carácter idiosincrásico particularmente en aquellas disciplinas —como es el caso de la Física— fuertemente formalizadas y en las cuales la selección, por ejemplo, de un repertorio de conceptos primitivos fuerza, a través de un conjunto de definiciones, principios leyes y teoremas, una estructuración relativamente definida de antemano. Novak (1988) parece ignorar explícitamente dicha limitación cuando afirma: *“Las permutaciones casi infinitas de conceptos y relaciones entre conceptos, permiten la enorme idiosincrasia que vemos en las estructuras conceptuales individuales”* (p. 221). Una tal libertad relacional es contraria a la estructura de la disciplina y al fundamento lógico de la propia jerarquización conceptual. Frente a esta aparente ignorancia respecto de las restricciones que la naturaleza de la disciplina —o del enfoque correspondiente— pudieran imponer, nosotros postulamos una conexión de carácter inverso entre el estatus epistemológico de la disciplina (o del enfoque) y el carácter idiosincrásico del mapa conceptual; de modo que, en general, cuanto mayor sea la “dureza” de una materia y su nivel de estructuración interna menores serán las posibilidades del sujeto para reflejar, en un mapa organizado jerárquicamente, su propia visión del correspondiente sistema conceptual, si se respetan unas normas de construcción del mapa bien definidas. Dicho principio puede representarse mediante un diagrama bidimensional como el que se muestra en la figura 2.4. Cabe destacar, no obstante, que la relación de orden inverso que se postula no elimina, desde luego, la contribución personal del sujeto a la organización del mapa, tan sólo la reduce para las disciplinas o los enfoques más duros.
- c) El principio de ordenación jerárquica —que constituye la base del procedimiento de construcción de esta clase de mapas conceptuales— se opone, al menos en parte, a la noción relacional de concepto antes citada. No obstante, la dosis de arbitrariedad que subyace en la elección de conceptos primitivos en un sistema deductivo (Tisza, 1963) quedaría resuelta, en el ámbito didáctico, apelando

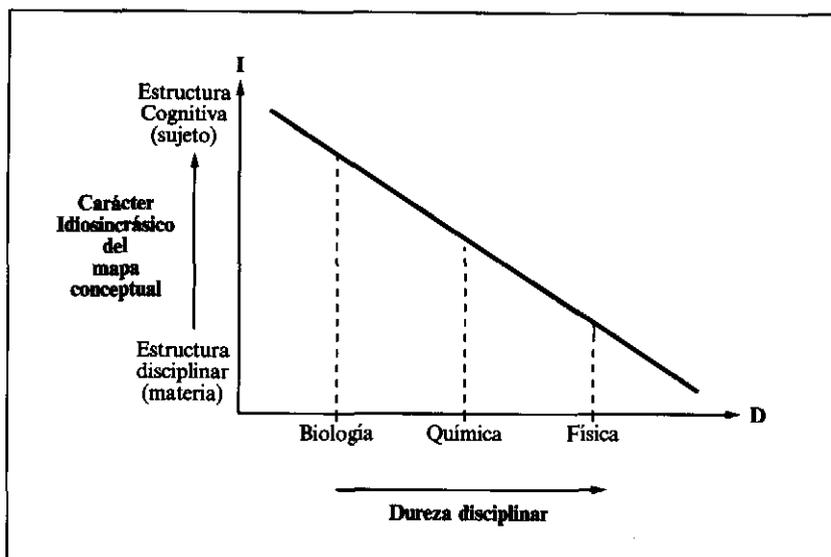


FIGURA 2.4: Diagrama bidimensional que representa la relación de orden inverso postulada entre la dureza disciplinar de un ámbito temático dado y el carácter idiosincrásico del mapa conceptual de tipo jerárquico correspondiente.

a tal principio de construcción del mapa en aras de una estructura conceptual que facilite un aprendizaje significativo (según la teoría de Ausubel). Debido a ese margen de arbitrariedad existente en la ordenación bidimensional de los conceptos físicos, el mapa tipo Novak construido por un experto puede constituir una representación aceptable de la estructura conceptual de la disciplina o de una porción limitada de ella.

- d) La correspondencia, siquiera sea parcial, existente entre la estructura conceptual de la materia y la estructura cognitiva del sujeto advierte sobre la posibilidad de que una misma herramienta de aprendizaje, tan bien definida como el mapa conceptual tipo Novak, no se ajuste con igual facilidad a ámbitos disciplinares, o incluso a enfoques, cuyo estatus epistemológico sea muy diferente (Biología frente a Física, o Física de educación general básica frente a Física universitaria, por ejemplo). No deja de ser

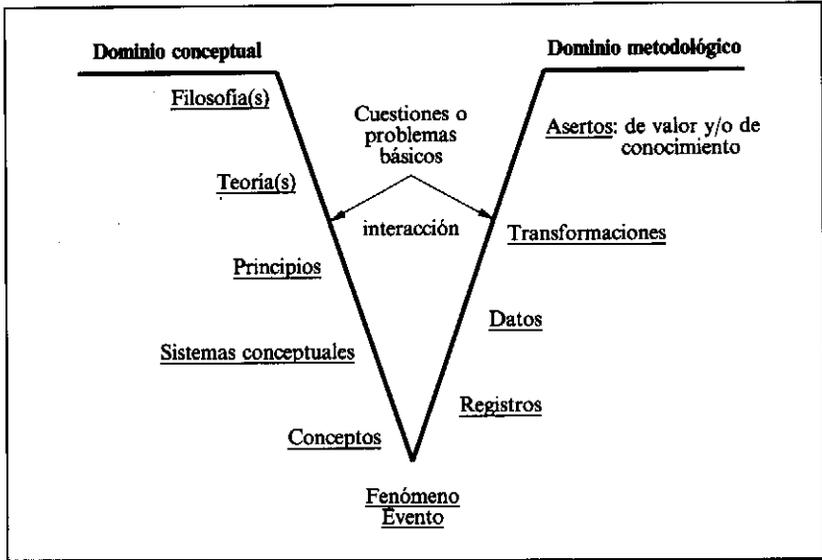


FIGURA 2.5.: Representación de la V epistemológica de Gowing en la que, como es habitual, destaca la interrelación entre el lado izquierdo y el lado derecho, esto es, entre los aspectos conceptuales y los aspectos metodológicos del conocimiento científico.

curioso que a tal conclusión pueda llegarse también desde un análisis de la V epistemológica de Gowing la cual es presentada, precisamente, por el propio Novak (Novak et al, 1984) como una herramienta de enseñanza/aprendizaje más general que los mapas conceptuales. No vamos a entrar aquí en una descripción detallada de las bases de la V de Gowing, de su origen y de sus aplicaciones didácticas; el lector interesado puede recurrir a las referencias (Novak et al, 1983, 1984; Novak, 1985). No obstante, y con el propósito de fundamentar la anterior afirmación, nos apoyaremos en la figura 2.5 en la que se resumen los aspectos más destacados de dicha herramienta, útil, sin lugar a dudas, para forzar un análisis de orden superior sobre el propio conocimiento (metaconocimiento).

A diferencia de los mapas conceptuales tipo Novak, la V de Gowing incorpora, explícitamente, el reconocimiento de una inte-

racción entre su lado izquierdo y su lado derecho, esto es, entre los aspectos conceptuales y los metodológicos del conocimiento científico. Pero, además, y como ha señalado Moreira (1989), la elaboración de mapas conceptuales está incorporada a la V de Gowing en la medida en que ésta se refiere también a los sistemas conceptuales:

"... para construir el lado izquierdo de la V no es suficiente identificar y hacer una lista con los conceptos claves, es preciso identificar también cómo tales conceptos están estructurados, jerarquizados y relacionados. Ello puede ser hecho construyendo un mapa conceptual" (p. 7).

Esa interdependencia entre los aspectos conceptuales y los aspectos metodológicos del conocimiento científico, asumida por la moderna filosofía de la ciencia y recogida en la V de Gowing, refuerza aún más la tesis de la existencia de diferencias profundas en la naturaleza de los sistemas conceptuales correspondientes a disciplinas, o a enfoques, cuyo estatus epistemológico sea notablemente distinto. Parece, por tanto, razonable que el mapa tipo Novak, como elemento de representación de un sistema conceptual, no pueda reflejar con la misma fidelidad la organización del conocimiento subyacente a un capítulo de Botánica que la correspondiente a otro de Electromagnetismo, por ejemplo, a menos que la aproximación a éste último sea descriptiva y de bajo nivel de detalle. Si esto es así, las mismas limitaciones pueden ser atribuidas al mapa conceptual como instrumento de enseñanza/aprendizaje.

No obstante las anteriores precisiones, y como ha sido reconocido por diferentes investigadores, los mapas conceptuales gozan, de un conjunto de aplicaciones diversas dentro del ámbito de la instrucción científica, como recurso didáctico de evaluación y de análisis del currículum (Stewart et al, 1979; Moreira, 1979; Moreira et al, 1985; Nieda et al, 1985). El hecho de que impliquen activamente al alumno en su propio aprendizaje y le fueren a efectuar un análisis sobre sus resultados de fuerte carácter relacional y globalizador podría explicar la valoración, por lo general positiva, por parte de los alumnos respecto de tales recursos instructivos, observada por nosotros y por otros investigadores (Brumby, 1983;

Moreira et al, 1985) sobre la base de trabajos sistemáticos con unos y con otros.

3.3.3. Los mapas conceptuales y la efectividad en la resolución de problemas

La última de las observaciones anteriores (d) abre una cuestión importante en relación con el empleo indiscriminado de los mapas conceptuales como recurso instructivo para asignaturas científicas de naturaleza diferente y, particularmente, suscita un análisis sobre su potencial utilidad de cara a la mejora en la efectividad en la resolución de problemas.

Como ha reconocido explícitamente Stewart (1980) "*El modelo particular de memoria subyacente (a los mapas conceptuales y a las redes semánticas) considera el almacenamiento de la información como primariamente declarativo*" (p. 224). Esta evidente limitación de los mapas conceptuales en el ámbito de la resolución de problemas —entendida en un sentido amplio— está afectada, no obstante, por la naturaleza o estatus epistemológico de la disciplina o del enfoque correspondiente. De modo que su papel como instrumento instructivo podría ser más relevante en las ciencias (o en los enfoques) blandas(os) que en las ciencias (o en los enfoques) duras(os), la resolución de cuyos problemas característicos requiere una aportación incuestionable de conocimiento procedimental. Recurriendo de nuevo a un diagrama gráfico bidimensional en el que se represente la influencia de dicho instrumento de enseñanza-aprendizaje sobre la efectividad en la resolución de problemas frente a la dureza de la disciplina en cuestión, esa conexión entre ambas variables, que acabamos de sugerir, queda representada mediante una línea decreciente (fig. 2.6). Una tal relación inversa predecirá una mayor influencia del mapa conceptual en asignaturas como Biología, de naturaleza más declarativa o descriptiva, y una menor influencia en asignaturas como Física que requieren una mayor contribución de conocimiento procedimental. La enorme confianza manifestada por Novak en su mapa conceptual podría estar relacionada, al menos en parte, con el hecho de que tal investigador lo haya utilizado preferentemente en ámbitos disciplinares (o enfoques) blandos. (Novak et al, 1984).

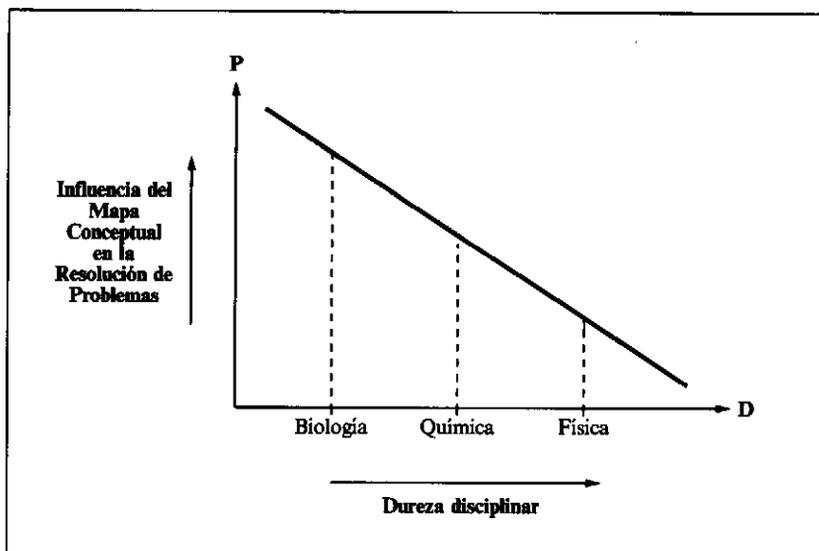


FIGURA 2.6.: Diagrama bidimensional que representa la relación de orden inverso postulada entre la dureza disciplinar de un ámbito temático dado y la influencia de la construcción del mapa conceptual jerárquico correspondiente sobre la resolución de problemas característicos de dicho ámbito temático.

Llegados a este punto es posible admitir la ortogonalidad de las tres variables consideradas en los dos esquemas anteriores (fig. 2.4 y 2.6) a saber:

- El **carácter idiosincrásico (I)** de los mapas conceptuales de tipo jerárquico, variable que pretende expresar la posición del mapa sobre el continuo *estructura cognitiva (sujeto) - estructura disciplinar (materia)*, de modo que cuanto más próximo esté el mapa a ésta última menor será su carácter idiosincrásico.
- La **dureza (D) de la disciplina**, entendida en un sentido epistemológico, que podría igualmente reflejar la posición de la asignatura correspondiente en ese otro continuo **conocimiento declarativo-conocimiento procedimental**, el cual constituye, en nuestra opinión, una mejor aproximación que la derivada de la mera consideración de sus extremos.

- La magnitud de la **influencia** de la utilización del mapa conceptual, en tanto que recurso de enseñanza-aprendizaje, sobre la efectividad en la **resolución de problemas (P)**.

Dando por bueno el carácter ortogonal –dos a dos– de la terna de variables **I**, **D**, **P**, la representación tridimensional más simple (figura 2.7) coherente con las otras dos bidimensionales anteriormente descritas predice una relación de carácter inverso entre las variables **I** y **P**, de modo que para una disciplina dada la incidencia del mapa conceptual en la resolución de problemas será tanto mayor cuanto menor sea su carácter idiosincrásico, dicho en otros términos, cuanto más fina sea la adecuación entre la estructura cognitiva del sujeto y la estructura conceptual de la materia. La figura 2.8 ilustra tal circunstancia sobre el plano definido por las variables **D-P**; I_2 representa, en la gráfica correspondiente, un valor del carácter idiosincrásico del mapa que es superior a I_1 , tal y como corresponde a la relación descrita en la fig. 2.7. La figura

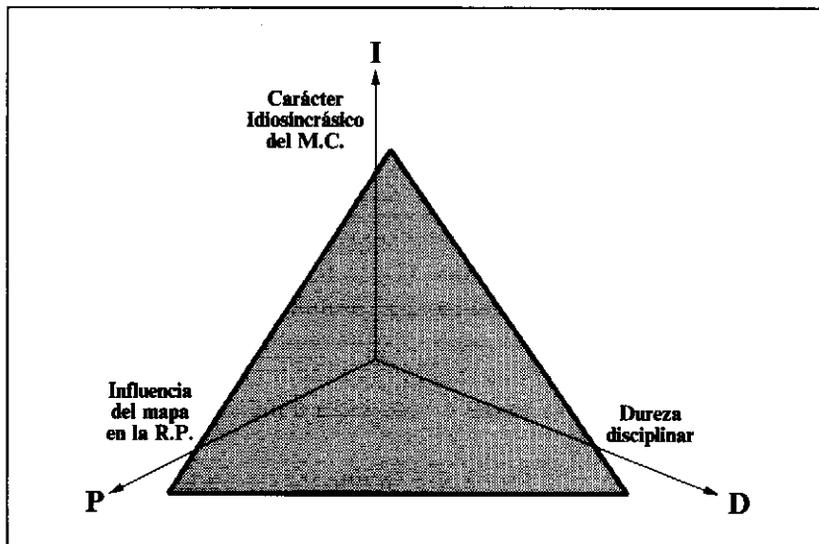


FIGURA 2.7.: Diagrama tridimensional en el que se muestra la relación postulada entre las variables **P**, **D**, **I** anteriormente referidas aceptando como recurso de representación el carácter trirectangular de los correspondientes ejes.

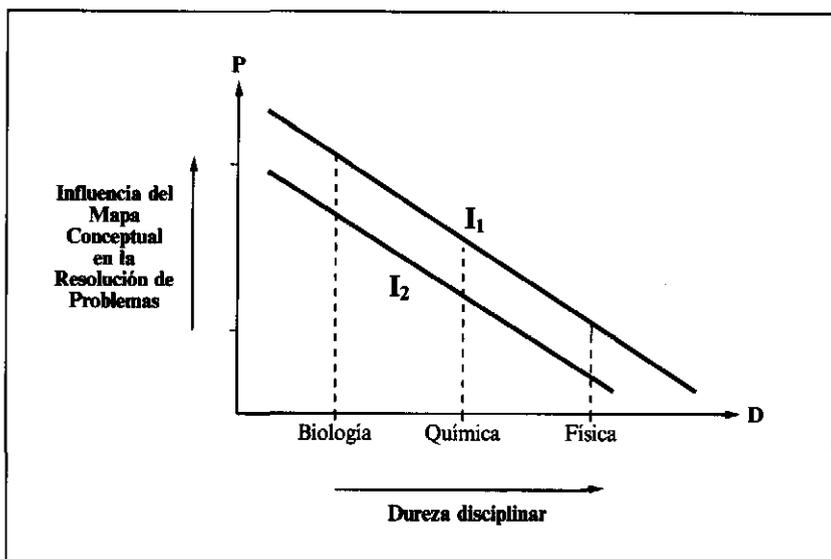


FIGURA 2.8.: Representación bidimensional de la relación postulada entre dureza disciplinar e influencia de la construcción del mapa conceptual correspondiente en la resolución de problemas cuando se controla la variable carácter idiosincrásico (I). De acuerdo con la gráfica, cuanto mayor sea el carácter idiosincrásico del mapa para una asignatura dada menor será su influencia en la resolución de problemas ($I_1 < I_2$)

2.9 representa esa misma relación multivariada, ahora sobre el plano I-P.

Esta predicción tan plausible concuerda, por otra parte, con los resultados de algunas de las investigaciones empíricas anteriormente referidas (Shavelson, 1972; 1973; Thro, 1978). Así en el trabajo de Shavelson (1972) se puso a prueba la influencia de la instrucción en Mecánica Newtoniana sobre la estructura cognitiva de tipo asociativo elucidada mediante test de asociación de palabras. Con un diseño experimental del tipo pretest-postest con grupo de control, en el que los tests aplicados fueron tanto de rendimiento como de asociación de palabras, la investigación concluyó que el rendimiento aumenta significativamente del pretest al postest como consecuencia de la instrucción y, paralelamente, se modifica la estructura cognitiva de tipo asociativo apareciendo los conceptos más interrelacionados entre sí al final de la instrucción. No obs-

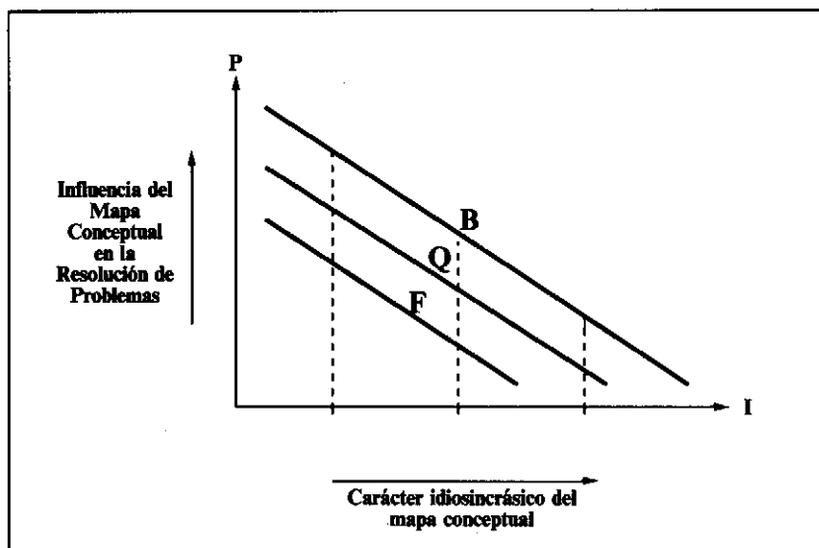


FIGURA 2.9: Representación bidimensional de la relación postulada entre carácter idiosincrásico del mapa conceptual e influencia de su construcción jerárquica en la resolución de problemas cuando se controla la dureza disciplinaria. Así, de acuerdo con el diagrama, la construcción de un mapa jerárquico con un carácter idiosincrásico determinado ejercerá, en términos generales, una mayor influencia si se trata de una disciplina como la Biología que si se trata de una disciplina como la Física. Esta misma conclusión podría extenderse a enfoques blandos y duros, respectivamente, para una disciplina dada.

tante, lo que más nos interesa destacar es el hecho de que cuando se cuantifica la estructura conceptual de la materia mediante una técnica específica (elaboración de diagrafos) se observa que la estructura cognitiva de los sujetos del grupo experimental se corresponde mucho mejor con la estructura de la materia al final de la instrucción que al principio; en definitiva, parece existir una cierta conexión entre ajuste de la estructura cognitiva del sujeto a la estructura conceptual de la materia y mejora del rendimiento como consecuencia de la instrucción.

En el trabajo de Thro (1978) de características similares al de Shavelson (1972), se consideró como modelo de estructura conceptual de la materia la estructura cognitiva del profesor obtenida mediante test de asociación de palabras. La estructura cognitiva (aso-

ciativa) de los estudiantes pertenecientes al grupo experimental presentó una mayor correlación con la del profesor después de la instrucción que antes. Un análisis de regresión demostró que la calidad de la estructura cognitiva (asociativa) del alumno contribuye por sí misma, de un modo significativo, a la predicción de su rendimiento en Física. En este caso la conexión, anteriormente postulada, entre adecuación de la estructura cognitiva del estudiante a la estructura conceptual de la materia por un lado y mejora en el rendimiento en Física por otro resulta, desde un punto de vista estadístico, aún mejor establecida. Todo lo anterior nos permite completar una imagen relativamente simple de ciertos condicionantes de corte epistemológico que presentan los mapas conceptuales de tipo jerárquico y de su repercusión en el ámbito de resolución de problemas; imagen que nos será de utilidad en la posterior interpretación de algunos de nuestros resultados empíricos.

4. El conocimiento como prototeorías

Un importante volumen de investigaciones empíricas ha puesto de manifiesto que el aprendizaje de las ciencias no es efectuado por una mente vacía de conceptos sino llena de un conocimiento preexistente sobre diferentes fenómenos el cual siendo, en ocasiones, "erróneo" proporciona explicaciones satisfactorias para el individuo desde una aproximación superficial al mundo de lo real (ver, por ejemplo, la revisión de Driver et al, 1985). Tales preconcepciones o marcos alternativos han sido definidos por Driver et al (1983) como "*organizaciones mentales impuestas por el individuo sobre sus experiencias sensoriales, que se ponen de manifiesto por las regularidades en las respuestas a situaciones problemáticas*" (p. 39).

Diferentes autores (Serrano Gisbert, 1987; Pozo, 1987; Driver et al, 1985) han identificado algunas características de estos marcos alternativos entre las que pueden destacarse las siguientes:

- a) Los marcos alternativos se consideran como estructuras mentales o esquemas con un limitado nivel de coherencia interna que operan como teorías causales poco formaliza-

das y pueden coexistir con otras de forma a veces contradictoria.

- b) Son personales, dado que la observación de los fenómenos está influenciada por los esquemas conceptuales del sujeto, lo que no excluye la posibilidad de que sean coincidentes. De hecho la información disponible indica que estudiantes de diferentes países tiene ideas semejantes o realizan interpretaciones idénticas de fenómenos análogos.
- c) Son estables o resistentes al cambio, de modo que la influencia de una instrucción científica convencional es limitada y, frecuentemente, coexisten durante algún tiempo con las concepciones científicas que facilita la institución académica. Ante situaciones que supongan la aplicación de fórmulas se recurrirá a la concepción científica que aporta un alto grado de formalización. Sin embargo, y ante cuestiones de razonamiento cualitativo, aflorarán las concepciones alternativas.

El llamado "movimiento de las concepciones alternativas" (Gilbert et al, 1985) asimila, por tanto, el contenido del conocimiento de los alumnos que interesa a la instrucción científica con un conjunto de mini-teorías o "teorías en acción" (Rowel et al, 1979) referidas cada una de ellas a un dominio conceptual relativamente restringido y que, en cierta medida, "comprometen a los jóvenes estudiantes con sus propias concepciones" (Gilbert et al, 1983).

La denominación de **prototeorías**, que aquí introducimos, se justifica, en parte, por el hecho de que junto a la investigación esencialmente empírica y descriptiva sobre la elucidación de los marcos alternativos de los alumnos, se haya articulado una perspectiva teórica, de corte constructivista, que contempla el aprendizaje científico como un proceso de desarrollo y transformación conceptual (Driver, 1988). Intimamente relacionado con dicha perspectiva se ha propuesto un esquema explicativo de más alto nivel epistemológico conocido como "teoría del cambio conceptual" (Posner et al, 1982; Strike et al, 1985). Sus autores consideran la acomodación como una forma radical de cambio conceptual, mediante la cual el estudiante reemplaza y reorganiza sus

conceptos centrales, y sugieren las siguientes condiciones necesarias para que la acomodación ocurra:

- a) Debe existir insatisfacción con las concepciones existentes.
- b) La nueva concepción debe ser inteligible al sujeto.
- c) La nueva concepción debe ser plausible.
- d) La nueva concepción debe ser más útil que la anterior.

Cuando la nueva concepción es contrastada con el sistema de conocimiento que el individuo posee puede suceder, o que encuentre su lugar en ella produciéndose una "captura conceptual", o que no suceda tal cosa generándose entonces un "conflicto conceptual". La solución al conflicto conceptual puede desembocar en alguna de las siguientes situaciones:

- i) La nueva concepción es rechazada.
- ii) La nueva concepción es asumida iniciándose el proceso de cambio conceptual.
- iii) La nueva concepción genera un marco independiente que, a pesar de su incoherencia respecto del conocimiento previo, coexiste con él.

Diferentes investigadores han propuesto estrategias didácticas globales para promover el cambio conceptual (Hewson et al, 1983; Champagne et al, 1983; Nussbaum et al, 1982). Otros han planteado sugerencias añadidas, tales como proporcionar oportunidades a los alumnos para hacer explícitas sus ideas, hacer más frecuentes el planteamiento y estudio de situaciones de ciencia cualitativa, o estimular las operaciones metacognitivas entendidas como tareas de reflexión y análisis sobre el propio aprendizaje (Driver et al, 1985). Con la intención de resaltar el tipo de conceptualización sobre la organización del conocimiento científico en los alumnos —que aporta, en su conjunto, el ya mencionado movimiento— y su trasfondo epistemológico, en lo que sigue haremos referencia a alguna de las estrategias propuestas para provocar el conflicto cognitivo.

La noción de conflicto o desequilibrio ocupa un lugar destacado en diferentes explicaciones del aprendizaje propuestas desde paradigmas diferentes. Piaget, en su última versión del modelo de funcionamiento de la equilibración cognitiva (Pozo, 1987; Piaget, 1978), propone tres tipos de desequilibrio o conflicto cognitivo jerárquicamente relacionados:

- a) Conflicto entre una idea o esquema previo y un observable o un dato de la experiencia.
- b) Conflicto entre dos ideas o esquemas del sujeto.
- c) Conflictos por insuficiencias en la integración jerárquica de esquemas previamente diferenciados.

El primero corresponde al nivel más bajo y es el que menos debe contribuir al cambio conceptual. De acuerdo con Lakatos (Lakatos, 1976), en cuya filosofía de la ciencia se inspira, en cierta medida, la teoría del aprendizaje científico como cambio conceptual, las teorías no cambian simplemente porque existan pruebas empíricas en su contra sino porque aparecen teorías mejores; las teorías son pues desplazadas por otras teorías. De un modo análogo son los conflictos de segundo y tercer orden, es decir, los propiamente conceptuales los que más deben contribuir al cambio conceptual. De acuerdo con Pozo (1987) en los conflictos del primer tipo el sujeto deberá hacer explícito:

- i) Su teoría o al menos ciertas predicciones derivadas de su teoría
- ii) Una información o un observable relacionado con su teoría
- iii) La diferencia entre la predicción y el observable

Para que se produzcan los conflictos del segundo tipo, el sujeto deberá reflexionar sobre:

- i) El primer esquema o idea en conflicto
- ii) El segundo esquema o idea en conflicto
- iii) Las relaciones de analogía y diferencia entre ambos.

Se desprende, pues, de todo lo anterior una conceptualización –tanto de la organización del conocimiento científico en los alumnos como de su evolución, asociada al aprendizaje propiamente dicho– de fuerte inspiración epistemológica, en la cual la analogía postulada entre “la ciencia de los científicos” y la “ciencia de los niños” (Gilbert et al, 1983) abre la puerta de la Educación Científica a todo el caudal de análisis y reflexión aportado por la llamada “nueva filosofía de la ciencia” (Brown, 1988; López Rupérez, 1990a).

No vamos a entrar, en lo que sigue, en un detallado análisis crítico de esta visión de las características del conocimiento y de su

organización en la mente de los estudiantes, pero sí diremos que la analogía anteriormente referida ha sido puesta en tela de juicio por diferentes investigadores (Sebastiá, 1989; Claxton, 1986; Mc Clelland, 1984). De tales trabajos emergen algunas cuestiones fundamentales para una reflexión crítica como las siguientes: ¿En qué medida los datos disponibles revelan una organización de las ideas espontáneas de los estudiantes que se aproxime a esos cuerpos coherentes de conocimientos que denominamos teorías científicas? ¿Hasta qué punto es razonable considerar las ideas espontáneas de los alumnos como gozando de los atributos esenciales de las teorías científicas? Y, finalmente, ¿a qué nivel epistemológico podría considerarse como adecuada la analogía? El indudable atractivo estético de la inspiración epistemológica más arriba reseñada y su legitimidad intelectual no justificarían, sin embargo, el forzar una interpretación de los datos observacionales polarizada en tal sentido. En cualquier caso, la denominación de prototeorías para tales formas de organización del conocimiento nos parece estar suficientemente justificada.

5. Jerarquización del conocimiento y resolución de problemas

Diferentes investigadores, desde posiciones teóricas distintas, han defendido la importancia que tiene para el aprendizaje científico introducir algún principio de organización jerárquica del conocimiento (Gagné, 1971; Novak et al, 1984, Eylon et al, 1984). Desde un punto de vista psicológico esta forma de organización cognitiva parece aportar como ventajas, entre otras, la economía intelectual que supone y su incidencia en tanto que elemento facilitador de una recuperación relativamente rápida de la información almacenada. El símil del libro con un índice temático detallado y convenientemente estructurado, el cual no sólo ayuda a localizar un contenido determinado sino que, además, lo sitúa en un contexto de significado bien definido, deja entrever algunas otras razones que avalan la defensa de un modo tal de organizar el conocimiento. En el ámbito informático el desarrollo de la "programación estructurada" recoge igualmente esta idea de esta-

blecer una jerarquía entre las diferentes unidades de conocimiento —en este caso subprogramas— como estrategia facilitadora de la construcción, manejo o modificación del todo.

En el ámbito concreto de la resolución de problemas de Física los estudios comparativos expertos/novatos han puesto de manifiesto que los expertos disponen de un conocimiento organizado jerárquicamente (Larkin, 1980b; Larkin et al, 1979). En este línea Frederick Reif —físico de la Universidad de Berkely, bien conocido por sus trabajos anteriores en el ámbito de la Física estadística— ha postulado una organización del conocimiento jerárquicamente estructurada como un medio para mejorar la efectividad en la realización de este tipo de tareas (Reif, 1981, 1983; Eylon et al, 1984).

Para ilustrar su propuesta recurre al ejemplo de la información geográfica contenida en un conjunto de mapas de diferentes escalas referido a un país o a una región determinados. El primero facilita una información a gran escala, amplia en su alcance, pero poco detallada. No obstante, conforme se va reduciendo la escala de observación, los detalles van apareciendo en los mapas sucesivos con un mayor nivel de definición. Una consulta precisa llevará consigo un proceso de aproximaciones sucesivas dirigido en el sentido en el que aumenta el grado de detalle de la representación.

El trasladar esta idea sencilla al ámbito de la Física supone organizar la materia en bloques de conocimiento estructurados jerárquicamente en función de su nivel de detalle. Así, para un capítulo de Mecánica sugiere como nivel más general el ocuparse de tres aspectos: la descripción de sistemas simples, la interacción entre tales sistemas y, finalmente, la relación entre el movimiento de los sistemas y su mutua interacción. El nivel inmediato inferior supone una elaboración o refinamiento de cada uno de los anteriores. Por ejemplo, el conocimiento sobre la interacción entre sistemas puede ser elaborado descendiendo al nivel de los conceptos —tales como fuerza, trabajo y energía potencial— y de las relaciones entre los conceptos que describen la interacción y los que describen los sistemas individuales. A un nivel de mayor detalle puede plantearse el cómo la fuerza o la energía potencial en un sistema de dos partículas depende de las propiedades intrínsecas de las partículas, tales como la carga o la masa y de sus posiciones relativas, y así sucesivamente.

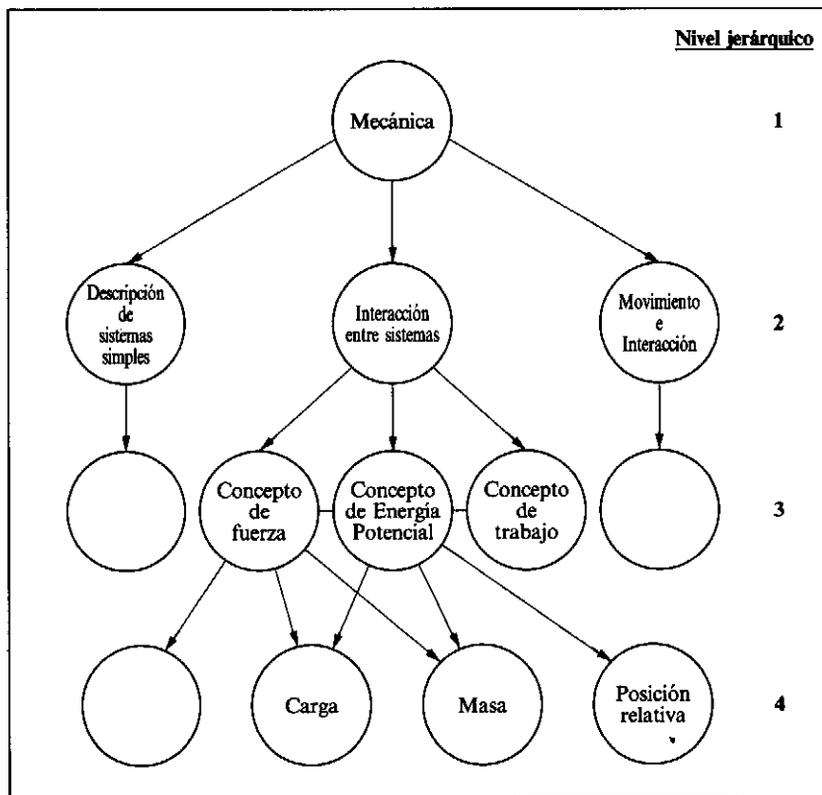


FIGURA 2.10.: Diagrama esquemático de una forma jerárquica de organizar el conocimiento en Mecánica, elaborado siguiendo el ejemplo propuesto por Reif (1981) y su concepción de niveles de refinamiento progresivo. En la presente figura sólo se han desarrollado algunos aspectos del esquema de niveles correspondientes.

Para que una forma tal de organizar jerárquicamente ese conjunto de conceptos, principios y reglas que constituyen el conocimiento en Física, pueda ser usada con efectividad en contextos de aplicación tales como la resolución de problemas, Eylon y Reif (1984) señalan tres condiciones, a saber:

- i) Que se establezcan explícitamente las conexiones entre los diferentes niveles de jerarquía así como entre unidades de conocimientos correspondientes a un mismo nivel (ver

fig. 2.10). Sólo de esta manera se facilitará la recuperación del contenido de las diferentes unidades de conocimiento.

- ii) Que la organización jerárquica del conocimiento esté adaptada, en cada caso, a la correspondiente tarea. La misma información debería ser, pues, estructurada en forma diferente si fuera a ser usada para la realización de conjuntos de tareas distintas.
- iii) Que la organización impuesta al conocimiento respete las limitaciones del ser humano, en cuanto a su capacidad de procesamiento y memoria a corto plazo. Así, la cantidad de información de cada unidad de conocimiento debería ser lo suficientemente pequeña como para poder ser procesada con facilidad y lo suficientemente grande como para que el número total de unidades de conocimiento no resulte tan grande que dificulte la tarea de relacionarlas.

Sobre la base de estos principios teóricos, y utilizando tratamientos fuertes, Eylon y Reif (1984) han demostrado experimentalmente que esta forma de organización jerárquica mejora en los alumnos las capacidades para recuperar el conocimiento, para modificarlo y para corregir errores, así como su comportamiento en la resolución de problemas de Física.

Uno de los resultados más claros de la referida investigación es que no basta, tan sólo, con organizar la información de forma jerárquica sino que es necesario, además, adaptarla al dominio de tareas sobre el cual el conocimiento va a ser utilizado. En definitiva, no existe una organización jerárquica del conocimiento que sea óptima y a la vez universal. Dicho resultado entra en colisión con ese otro modo de organización jerárquica postulado por Novak en sus mapas conceptuales los cuales, como es sabido, se apoyan en un procedimiento de construcción en principio universal. Dicho conflicto de perspectivas constituye una razón añadida para focalizar la atención en este tipo de herramientas cognitivas y someterlas a la prueba del análisis empírico de un modo más específico.

CAPITULO 3

LA RESOLUCION DE PROBLEMAS EN FISICA Y LOS ESTUDIOS EXPERTOS-NOVATOS

1. Introducción

La trascendencia de la resolución de problemas como componente fundamental de la Educación Científica queda reflejada en el número y en la variedad de los trabajos de investigación publicados al respecto lo que impone, con frecuencia, la necesidad de establecer criterios de clasificación que permitan introducir un poco de orden en tan vasto dominio de conocimiento (Garret, 1986).

En lo que respecta al marco en el que se integra la presente investigación –en la que se conecta explícitamente la organización del conocimiento en el sujeto y la efectividad en la resolución de problemas– nos interesa destacar, de entre las existentes, al menos cuatro líneas de investigación que han sido o siguen siendo relevantes, a saber:

- a) La que pone el acento en la enseñanza de un conjunto de algoritmos y heurísticos que faciliten la resolución (Polya, 1945; Schoenfeld, 1979a, b; 1980), o en palabras de Mettes y col. en un programa de acciones y métodos (Mettes et al, 1980, 1981; Kramers-Pals et al, 1988).
- b) La que concibe la resolución de problemas como una tarea esencialmente creativa (Garret, 1987; Frederiksen, 1984; Calking et al, 1984) en la cual se articulan diferentes ciclos de formulación de hipótesis, de incorporación de información adicional y de revisión de las hipótesis

previas sobre la base de la nueva información, hasta encontrar una solución (Frederiksen, 1984; Putz-Osercoh, 1974); tarea que es interpretada por otros como la exigencia derivada de la idea de un aprendizaje científico concebido no sólo como cambio conceptual sino también metodológico (Gil Pérez et al 1983; 1988).

- c) La de aquellos que están interesados en el diseño de modelos prescriptivos de las características cognitivas o de la estructura del conocimiento del sujeto responsables de un comportamiento eficaz en la resolución de problemas (Reif, 1979; Reif et al, 1982; Heller et al, 1984).
- d) La que recurre a la comparación expertos/novatos como instrumento metodológico para intentar elucidar, desde un punto de vista esencialmente descriptivo, la naturaleza de los mecanismos de resolución efectivos y eficientes (Larkin et al, 1979, 1980; Chi et al, 1981, 1982).

A pesar de que algunos autores hayan pretendido desmarcarse explícitamente de las otras perspectivas (Gil Pérez et al, 1987, 1988) —impulsados probablemente por la fuerza de su “heurística positiva” (ver Lakatos, 1976 nota 167)— lo cierto es que, en nuestra opinión, tales corrientes están bastante más relacionadas entre sí de lo que, a primera vista, pudiera parecer.

En lo que sigue, y coherentemente con las prioridades derivadas de la naturaleza de nuestra investigación, centraremos primeramente la atención en la propia noción de problema y, a continuación, efectuaremos una revisión detallada de los estudios expertos-novatos en la resolución de problemas de Física más significativos, destacando tanto sus resultados como sus limitaciones.

2. Concepto de problema

Más allá de la posible confusión que el significado del término problema pudiera conllevar en la jerga académica, entre los investigadores que trabajan en resolución de problemas dicho término está siempre asociado a una situación de la cual no se sabe de antemano cómo salir. En palabras de Hayes (1981): “*Cuando existe un vacío entre la situación en la que se encuentra usted ahora y*

aquella que quiere alcanzar, y no conoce como encontrar una forma de salvar tal vacío, entonces usted tiene un problema”.

A pesar de ello, los propios investigadores han efectuado un esfuerzo en el sentido de intentar clarificar esa noción más general, recurriendo a la clasificación de los problemas de acuerdo con criterios muy amplios aun cuando, como ha señalado Scriven (1980), cada uno tenga su tipología favorita.

Así, en relación con la naturaleza del conocimiento requerido para su resolución, los psicólogos han introducido la etiqueta de **problemas referidos a dominios de contenido ricos semánticamente** como son los de la Física, la Química o las Matemáticas, por ejemplo, para distinguirlos de otros **problemas carentes de carga semántica** que recuerdan juegos o pasatiempos de contenido intrascendente tales como el de la Torre de Hanoi o el de Misioneros y caníbales (Mayer, 1985) cuyo interés ha atraído durante algún tiempo vivamente la atención de los psicólogos cognitivos (Rivière, 1987).

Frederiksen (1984), citando a Simon (1973; 1978), establece una clasificación de los problemas atendiendo al nivel de definición de su enunciado distinguiendo entre:

- **problemas bien estructurados:** En ellos se facilita toda la información necesaria, presentada de forma clara y se dispone de un algoritmo apropiado que garantice la solución correcta.
- **problemas mal estructurados:** No están claramente establecidos y no toda la información necesaria está disponible inicialmente, no existe un algoritmo definido e incluso puede no existir solución o no ser única.
- **problemas estructurados que requieren un pensamiento productivo:** Similares en cuanto a las características de definición del problema y de su solución, a los bien estructurados, se diferencian en el hecho de que el procedimiento de resolución o alguna etapa crucial del mismo deben ser aportados por el sujeto resolvente.

Scriven (1980), por su parte, ha propuesto una clasificación de los problemas en **problemas “intra-paradigma”** y **problemas “de nuevo paradigma”**. En los problemas del *primer tipo* se incluyen los de Física o Matemáticas habituales en el contexto escolar y los de

juegos que deliberadamente el autor incluye en el mismo grupo. Por contra, los del *segundo tipo* requieren un enfoque radicalmente nuevo, una nueva teoría o un nuevo paradigma; incluye en este tipo, entre otros, algunos juegos y ciertas tareas de aprendizaje conceptual. A esta clasificación preliminar Scriven añade un *tercer tipo* de problemas, que, en su opinión, incluye a los dos tipos anteriores como casos particulares. Se trata de problemas no lineales del estilo de los que se plantean en la esfera de lo práctico y, con frecuencia, en Economía y en otras ciencias sociales.

Coherentemente con su idea de resolución de problemas como una tarea de creación Garret (1988; 1986) distingue entre los **puzzles** (rompecabezas), o situaciones problemáticas que pueden solucionarse potencialmente dentro de un paradigma si se dispone de la suficiente información, y el resto, que considera como los "**verdaderos problemas**" los cuales no son "*ni solucionables ni resolubles, sino únicamente comprensibles*". Se trata de problemas que suponen salirse del paradigma disponible.

Finalmente con una intención más divulgadora, hemos establecido en otro lugar (López Rupérez, 1987) una distinción entre **problemas estándar** (o problemas tipo) y **problemas generales**. Los primeros vienen a ser ejercicios cuyo procedimiento de resolución está establecido de antemano para un conjunto de situaciones formalmente análogas y que el sujeto deberá repetir. Los segundos se caracterizan porque el que intenta resolverlos no dispone, al menos inicialmente, de un algoritmo definido sino que ha de construir la solución utilizando recursos propios. En nuestra opinión, son precisamente los problemas de este tipo los que, en términos prácticos, más interesan a la Educación Científica y se corresponden, exactamente, con la categoría de problemas estructurados que requieren un pensamiento productivo, anteriormente referida. Es sobre esta clase de problemas que se ha centrado, preferentemente, la presente investigación.

3. Estudios expertos-novatos

El estudio de la expertez es un área del conocimiento que presenta un interés multidisciplinar. El enfoque de la Psicología

Cognitiva y, particularmente, del paradigma del procesamiento de la información que postula la analogía computacional hombre-máquina resulta, de hecho, complementario respecto del enfoque característico de la Inteligencia Artificial que pretende la simulación del razonamiento humano mediante la ingeniería del conocimiento y la implementación de los llamados sistemas expertos (Maté Hernández et al, 1988). Implicada, asimismo, en esta temática se encuentra la Didáctica de las Ciencias cuya preocupación central estriba en caracterizar las condiciones tanto de un aprendizaje científico eficaz como de la enseñanza que mejor pueda promoverlo. La resolución de problemas de Física constituye un ejemplo de dicha conjunción y, particularmente, lo son los estudios expertos/novatos que han pretendido identificar las características del comportamiento de profesores, o de personas disponiendo de una amplia experiencia en la resolución de problemas de Física, frente al de principiantes o novatos.

Con el propósito de recoger los resultados más destacados de esta clase de estudios que puedan servir de referencia en el análisis y discusión de los resultados de nuestra propia investigación, en lo que sigue efectuaremos una revisión de algunos de los trabajos más representativos en el ámbito de la Física y de sus principales conclusiones.

3.1. “COMPRESION Y ENSEÑANZA DE RESOLUCION DE PROBLEMAS EN FISICA”

Dicho trabajo debido a Larkin y Reif (1979), que constituye un ejemplo de colaboración entre una psicóloga cognitiva y un físico con amplia experiencia, se orienta hacia la consecución de un doble objetivo: mejorar la comprensión de los procesos de la resolución de problemas de Física y, sobre esa base, diseñar procedimientos instructivos que permitan mejorar las habilidades de los estudiantes para la realización de este tipo de tareas.

Un estudio preliminar fue efectuado sobre la base del comportamiento de dos únicos sujetos, un experto y un novato frente a la resolución de cinco problemas de Mecánica. El análisis detallado de los protocolos derivados de la verbalización del proceso de resolución y del material escrito generado simultáneamente,

junto con un análisis lógico de las tareas requeridas permitió a los investigadores definir sendos modelos de procesos de resolución de expertos y novatos cuyas características fundamentales se resumen en el cuadro 3.1.

Nos interesa destacar, de acuerdo con los autores, las dos predicciones centrales del "modelo experto":

- 1) El experto emplea métodos coherentes implicando varios principios seleccionados en una unidad funcional.
- 2) El experto utiliza estos métodos cualitativamente para construir una descripción física del problema poco deta-

CUADRO 3.1.: Características fundamentales de los modelos de procedimiento de expertos y novatos en la resolución de problemas de Dinámica según Larkin y Reif (Larkin et al., 1979).

EL MODELO NOVATO

- * Construye una descripción inicial del problema
- * Construye una descripción matemática
 - Identifica y aplica principios relevantes (por ejemplo la ley de composición de fuerzas o la segunda ley de Newton)
 - Combina ecuaciones para eliminar magnitudes que no interesan

EL MODELO EXPERTO

- * Construye una descripción inicial del problema
- * Construye una descripción física de bajo nivel de detalle
 - Selecciona un método (por ejemplo, bien en términos de fuerzas o bien en términos de energías)
 - Selecciona aspectos claves del problema
 - Aplica principios fundamentales (por ejemplo, $F = ma$)
 - Construye una descripción representando las fuerzas paralelamente a la aceleración o, en su caso, a la velocidad
 - Comprueba que no existen anomalías
 - Aplica principios auxiliares (por ejemplo, la ley del paralelogramo de composición de fuerzas)
- * Construye una descripción matemática
- * Aplica principios fundamentales (por ejemplo $F = ma$) para generar ecuaciones
- * Aplica principios auxiliares para eliminar magnitudes que no interesan
- * Combina y resuelve ecuaciones

llada que le sirve como guía para la posterior construcción de una descripción de tipo matemático más precisa.

La validación empírica de tales modelos se puso a prueba mediante dos procedimientos. En primer lugar se efectuó una predicción en relación a la forma que adoptaría la secuencia temporal de aparición de ecuaciones en la resolución efectuada por ambos sujetos; en el sujeto experto debería corresponder a una secuencia de puntos relativamente próximos, mientras que en el novato deberían estar distribuidas al azar respecto del eje de tiempos. En segundo lugar se diseñó y ejecutó un experimento consistente, básicamente, en procurar a dos grupos de alumnos, procedimientos contrapuestos de enseñanza de resolución de problemas, poniendo en uno el acento en las características del modelo de resolución de los expertos y en el otro en el de los novatos. Los resultados obtenidos validaron los aspectos fundamentales de los modelos propuestos.

3.2. "ACTUACION DEL EXPERTO Y DEL NOVATO EN LA RESOLUCION DE PROBLEMAS DE FISICA"

En un trabajo posterior publicado por Larkin junto con otros conocidos investigadores en resolución de problemas (Larkin et al, 1980) se establecen otras características adicionales, algunas de ellas por lo demás evidentes, derivadas de la observación y del análisis del comportamiento expertos/novatos ante la resolución de problemas típicos de Cinemática básica. Según estos autores destacan, el experto tiene destrezas matemáticas potentes y una experiencia dilatada en resolución de problemas de Mecánica; por su parte el novato, aunque dispone claramente de destrezas en el manejo del álgebra acaba de estudiar el correspondiente capítulo y se enfrenta a los problemas por primera vez. El experto resuelve los problemas en un tiempo que es inferior a la cuarta parte del que emplean los novatos y lo hace, además, con menos errores. Los expertos trabajan habitualmente hacia adelante, de los datos hacia las incógnitas; sin embargo, cuando el problema se complica emplean el procedimiento inverso avanzando de las incógnitas hacia los datos.

Una tercera diferencia señalada en el anterior trabajo consiste en que los novatos se refieren en voz alta a cada ecuación que va a ser empleada y a continuación sustituyen en ella los valores conocidos. El experto, por el contrario, sólo menciona en alta voz el resultado numérico de la sustitución pero no la ecuación original expresada en forma literal.

Una cuarta posible diferencia entre expertos y novatos parece residir en el hecho de que el novato recurre a un procedimiento de traducción sintáctica directa mientras que el experto parece generar algún tipo de representación física, en la cual la aceleración "produce" velocidades y las velocidades "producen" distancias recorridas.

Al hilo de la descripción del comportamiento de los expertos ante problemas de Dinámica los autores destacan el hecho de que, por lo general, los físicos parecen emplear diferentes representaciones del problema para las distintas fases de resolución, en el orden siguiente:

- 1) Representación gráfica inicial o grosera.
- 2) Representación gráfica refinada conteniendo entidades físicas.
- 3) Ecuaciones

No obstante lo anterior, el experto también dedica tiempo a construir una representación más abstracta del enunciado, lo que le permite, entre otras cosas, poner a prueba la descripción cualitativa preliminar y hacer más compacta o económica la información relevante.

3.3. "CATEGORIZACION Y REPRESENTACION DE PROBLEMAS DE FISICA POR EXPERTOS Y NOVATOS"

La investigación debida a Chi et al (1981) constituye otra de las aportaciones más significativas en la comparación expertos/novatos sobre problemas de Física. Su extenso trabajo supone una contribución novedosa no sólo desde el punto de vista de los resultados sino también desde el de la metodología empleada. Consta, esencialmente, de cuatro estudios en los que se investiga las rela-

ciones entre la categorización de los problemas de Física y los posteriores intentos o rutas de resolución. En los dos primeros los autores exploran los tipos de categorías que imponen expertos y novatos a una colección de problemas de Física. En el tercero analizan el conocimiento que tal categorización activa en el sujeto resolvente y en el cuarto consideran cuáles son los rasgos característicos de los problemas que sirven de base al experto o al novato para decidirse por una categoría determinada.

El primer estudio fue realizado sobre una muestra de ocho sujetos expertos y ocho novatos a los cuales se les pidió clasificar una colección de 24 problemas de Mecánica en grupos, en función de su similitud en cuanto al procedimiento de resolución, pero sin resolverlos, al menos con lápiz y papel. Además se debía dar, en cada caso, una justificación de la categorización efectuada. Los resultados de este primer estudio no evidenciaron la existencia de diferencias importantes en el número de categorías generales para cada grupo. En ambos casos la clasificación fue efectuada sobre la base de algún tipo de representación significativa del enunciado. Sin embargo, se observaron diferencias en lo que respecta a las características del problema que sirvieron de base a la categorización; así, mientras que los novatos se apoyaron en diferentes aspectos de la "estructura superficial" del problema, tales como objetos descritos, o configuración física correspondiente, o términos que aparecían en el enunciado, los expertos recurrieron a la "estructura profunda" del problema definida por las leyes o principios básicos aplicables para su resolución.

En el segundo estudio se pretendió poner a prueba la interpretación dada en el primero en relación con las diferentes formas de categorizar los problemas que presentan expertos y novatos. Para ello se construyeron 20 nuevos problemas en los cuales aparecían mezcladas características superficiales y características profundas. La predicción consistió en afirmar que los novatos incluirían en el mismo grupo los problemas con igual estructura superficial al margen de su estructura profunda, mientras que los expertos procederían de manera opuesta. Individuos de competencia intermedia deberían exhibir un comportamiento intermedio. Dicha predicción fue efectivamente confirmada y, por lo tanto, los datos del primer estudio fueron validados.

El tercer estudio estuvo dirigido al contenido de esas unidades de conocimiento o esquemas que se ponen en juego en el proceso de categorización anteriormente descrito. Para ello se seleccionaron 20 categorías, cubriendo desde las preferidas por los expertos hasta las preferidas por los novatos según los resultados de los estudios anteriores. Dichas categorías fueron posteriormente presentadas a dos expertos y a dos novatos, pidiéndoseles que en tres minutos contaran todo aquello que podría estar implicado en los problemas correspondientes a cada categoría y en su resolución. El análisis de los protocolos verbales así generados fue efectuado recurriendo, por un lado, a mapas del tipo nodo-unión contruidos por los investigadores a partir del contenido del protocolo y, por otro, a la extracción de todos los enunciados del tipo "si-entonces" que expresan parejas condición-acción. Los resultados del análisis indican que los novatos no discuten ningún principio físico hasta el final a diferencia de los expertos que los mencionan al principio. En lo que respecta al conocimiento superficial no se apreciaron grandes diferencias entre ambos grupos, sin embargo, se observó cómo los expertos parecen asociar a los principios de la Física una cierta cantidad de conocimiento procedimental, en términos de acciones explícitas, lo que hace posible su aplicabilidad.

Finalmente, en el cuarto estudio los autores intentaron analizar los métodos básicos que los sujetos aplican a la resolución de los problemas, identificar cuáles son las características del enunciado que dan lugar a la aparición de ese "enfoque básico" y finalmente realizar el proceso de construcción de la representación del problema. Recurrieron para ello al análisis de los protocolos de dos expertos y dos novatos sobre la misma colección de 20 problemas empleados en el segundo estudio; los resultados de este estudio confirmaron de nuevo las conclusiones derivadas del primero.

Parece como si los expertos percibieran más en el enunciado de lo que perciben los novatos. El enfoque básico de los expertos estuvo basado en principios que estos aplicaron como guiados por un tipo de conocimiento tácito de orden superior. En cualquier caso las indicaciones clave les fueron facilitadas no por las palabras en sí sino por lo que ellas significan en un contexto dado. Los novatos consideraron, sin embargo, como enfoque básico la traducción en ecuaciones de los componentes literales del problema.

En cuanto al proceso de construcción de la representación del problema se observó que en los expertos tiene lugar a lo largo de un intervalo de tiempo durante el cual se produce una interacción entre el enunciado del problema y la base de conocimientos del sujeto resolvente. Indicaciones de tipo literal se transforman en características de segundo orden que activan el esquema correspondiente a un tipo de problemas dado, estando dicho esquema organizado en torno a leyes físicas. En los novatos la representación se organiza en torno a categorías de objetos, como planos inclinados, cuerpos en caída libre, etc, que dan lugar a la generación de las correspondientes ecuaciones y éstas a su vez incitan a la sustitución o al manejo algebraico correspondiente.

3.4. "EXPERTEZ EN RESOLUCION DE PROBLEMAS"

En un trabajo posterior Chi et al (1982) presentan un estudio relativamente completo sobre la expertez en resolución de problemas, particularmente de Física, al que incorporan los resultados de su anterior trabajo para integrarlo dentro de una perspectiva más amplia.

En una revisión preliminar que los autores hacen sobre el tema y cuya referencia nos servirá a nosotros para resumir la evidencia empírica acumulada en trabajos anteriores, en parte ya descritos, se agrupan las diferencias expertos-novatos en dos grandes clases:

- a) **Diferencias cuantitativas.** Las diferencias cuantitativas fundamentales se refieren a las siguientes variables:
 1. Tiempo de resolución. Los sujetos expertos resuelven los problemas más rápidamente que los novatos.
 2. Tiempo de pausa entre ecuaciones. Los expertos recuperan las ecuaciones físicas de su memoria como en bloques o secuencias cuyos elementos aparecen próximos en el tiempo, en tanto que las secuencias resultan relativamente distantes entre sí.

3. Número de errores. Los expertos cometen menos errores que los novatos pero, además, su naturaleza es diferente.
- b) **Diferencias cualitativas.** Aunque más difíciles de definir operacionalmente constituyen, sin embargo, las más destacables.
1. Los físicos expertos parecen efectuar un análisis cualitativo preliminar antes de recurrir a las ecuaciones físicas, lo que puede interpretarse como el reflejo de que una representación física del problema se está construyendo. Dicha representación puede ser útil o incluso necesaria por las siguientes razones: i) Proporciona una base cierta para la generación de ecuaciones. ii) Puede ser usada para depurar errores propios. iii) Proporciona una descripción concisa y global del problema y de sus detalles. iv) Permite efectuar inferencias directas de ciertas características del problema o de sus relaciones internas que no están explícitas en el enunciado.
 2. Los sujetos expertos efectúan un número considerablemente menor de "metaenunciados" o comentarios hechos sobre el proceso de resolución, sobre los errores cometidos, sobre el significado de una ecuación o anticipando sus planes o sus intenciones, por ejemplo. Tal circunstancia ha sido explicada por el hecho de que los expertos tienen múltiples recursos para evaluar sus resultados o para ponerlos a prueba, lo que les da una seguridad que se refleja en la escasez de este tipo de comentarios.
 3. Los sujetos expertos utilizan, por lo general, rutas de resolución o estrategias que van de los datos hacia las incógnitas, mientras que los novatos suelen proceder en sentido inverso aún a pesar de ser ésta una estrategia más sofisticada o difícil.

Después de realizar una descripción de diferentes modelos teóricos de resolución de problemas de Física y con la intención de aproximarse a una teoría de la expertez, los autores presentan un conjunto de investigaciones que pretenden dar contestación a tres

cuestiones básicas y mutuamente relacionadas, a saber, ¿cuáles son las diferencias en cuanto a la realización de tareas entre expertos y novatos?; ¿cuáles son las características que diferencian la base de conocimientos y las destrezas de los expertos y los novatos?; ¿cómo la organización de la base de conocimientos contribuye al comportamiento observado en expertos y novatos?

En el Estudio 1 se intentó caracterizar, desde un punto de vista tanto cuantitativo como cualitativo, los procesos de resolución de problemas de expertos y novatos, así como replicar o contrastar investigaciones anteriores. En lo que respecta al **análisis cuantitativo** los resultados pueden resumirse en los siguientes términos:

- a) Los expertos cometen menos errores que los novatos, lo que coincide con lo establecido previamente.
- b) Los expertos no siempre emplean menos tiempo en la resolución de los problemas que los novatos. Novatos competentes pueden resolver problemas no triviales, en un tiempo aproximadamente igual que el de los expertos.
- c) No aparecen diferencias sistemáticas entre ambos grupos de resolventes en lo que respecta al número de ecuaciones generadas.
- d) No se observa discriminación de los novatos respecto de los expertos en relación con la asociación de ecuaciones en bloques o "chunks", más bien los novatos parecen generar un gran número de relaciones agrupadas entre sí en el tiempo.
- e) No parecen existir diferencias sistemáticas entre expertos y novatos en lo que respecta al número de diagramas generados, no obstante lo cual, se dejan sentir en este punto los efectos de las diferencias individuales.

El **análisis cualitativo** de los protocolos arroja los siguientes resultados:

- a) Contrariamente a lo considerado hasta ahora, la información contenida en los protocolos parece indicar que los novatos también dedican tiempo a analizar el problema cualitativamente.

- b) El análisis cualitativo se lleva a cabo, con frecuencia, a lo largo del protocolo y no solamente al principio, razón por la cual resulta difícil establecer cuándo la construcción de una representación dada ha terminado.
- c) Los errores deslizados en el proceso de resolución pueden clasificarse en: i) Errores de cálculo asociados a fallos en el manejo o en la sustitución de ecuaciones. ii) Inferencias erróneas o fallos en la generación de inferencias correctas. Los novatos se diferencian de los expertos en que cometen más errores del segundo tipo.

En resumen, pocas diferencias entre expertos y novatos establecidas en estudios anteriores fueron claramente validadas en éste.

Tras esta investigación preliminar y bajo el epígrafe **Estudios sobre la categorización de problemas**, los autores presentan, a continuación, tres estudios cuyo propósito global es mejorar la comprensión de las diferencias en la organización del conocimiento de expertos y novatos que pudieran explicar las diferencias en cuanto a las destrezas de resolución. Partiendo del supuesto de que la movilización del conocimiento útil para la resolución de un problema dado es un subproducto de la categorización del problema en una clase específica, atribuyen, a modo de hipótesis, las diferencias expertos-novatos a inadecuadas, incompletas o incluso inexistentes categorías de problemas en los sujetos novatos.

Los dos primeros estudios de este grupo (estudio 2 y estudio 3) se corresponden exactamente con los estudios 1 y 2 del trabajo descrito en el apartado precedente, por lo que no insistiremos sobre ellos. El tercero (estudio 4) parte de los resultados derivados de los dos anteriores en el sentido de sugerir claramente que la caracterización de los problemas es diferente en ambos tipos de resolventes y postula una estructura jerárquica de tipo inclusivo, de modo que los esquemas de orden superior incluyen otros subesquemas de orden inferior. Los datos observacionales parecen, según los autores, sugerir que, en efecto, las categorías de clasificación de los novatos corresponden a las categorías subordinadas de los expertos. Agrupados en torno al tema de **la organización de la base de conocimientos** se describen dos estudios que plantean la cuestión de en qué extensión y en qué medida la base de conoci-

mientos de los novatos es menos completa y coherente que la de los expertos.

En el estudio 5, y a partir de los análisis de los resúmenes de un capítulo de un libro de Física General solicitados a expertos y novatos, los autores no encuentran entre ambos grupos de sujetos diferencias apreciables en los que concierne a aspectos cuantitativos tales como longitud del resumen o número de relaciones cuantitativas recogidas, por ejemplo. Sin embargo, cuando se pone la atención en los aspectos cualitativos se observa que los expertos recogen en su resumen una información sobre las leyes físicas más completa que la de los novatos. Dicho resultado sugiere que deficiencias no sólo en el conocimiento procedimental sino también en el declarativo podrían estar jugando en contra de los novatos ante la resolución de problemas de Física.

En el estudio 6, y siguiendo una cierta progresividad, se pretende profundizar más en las diferencias que presentan las estructuras del conocimiento de expertos y novatos, tratando de aportar una descripción más detallada de sus respectivas bases de conocimientos. En dicha investigación presentan de nuevo los resultados del estudio tercero, descritos en el artículo "*Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices*" y resaltan las diferencias, a favor de los expertos, relativas a un conocimiento de más alto nivel jerárquico, esto es, apoyado en principios físicos con referencia explícita a procedimientos y condiciones de aplicabilidad.

Como culminación de esta secuencia de investigaciones agrupadas, se presentan dos estudios dirigidos a identificar las características clave de los problemas. El primero (estudio 7) coincide con el estudio 4 del trabajo anterior. En el segundo (estudio 8) los autores se proponen recabar, mediante diferentes procedimientos, una valoración e incluso un diagnóstico de expertos y novatos respecto de la dificultad que les presentó la resolución de los 20 problemas considerados en el estudio anterior. Los resultados obtenidos muestran que los términos clave para la resolución de un problema de Física pueden ser identificados, tanto por los expertos como por los novatos, y que la dificultad reside, de hecho, en la limitada capacidad de los novatos para generar inferencias y relaciones que no están establecidas explícitamente en el enunciado.

4. Hacia una nueva orientación

Los estudios expertos-novatos que acabamos de describir han aportado un caudal importante de resultados empíricos en los que inspirar una teoría de la expertez. Tal circunstancia se hace evidente cuando uno se acerca a la base cognitiva del diseño de los sistemas expertos de la segunda generación (López de Mántaras, 1989); se aprecia entonces el papel fundamental que en su desarrollo desempeña el conocimiento profundo, esto es, basado en principios y leyes básicas y no sólo en reglas de producción o inferencias de carácter empírico (Seels, 1988), lo que resulta relativamente familiar cuando se compara con algunas de las conclusiones de los estudios anteriormente descritos.

No obstante, algunas limitaciones, ya sean de tipo general ya sean de tipo particular, han sido destacadas en la literatura. La primera de ellas hace referencia a la propia noción de experto. Ciertos autores han destacado el hecho de que en algunos trabajos los expertos elegidos fueron realmente "malos expertos" dado que no actuaron de acuerdo con lo que se esperaba de ellos. En este mismo orden de ideas Pozo (1987) ha denunciado la circularidad de la noción de experto puesto que es, precisamente, la expertez lo que se trata de caracterizar en este tipo de estudios.

En lo que concierne a las investigaciones anteriormente revisadas, Larkin et al (1980) introducen una cierta cautela en relación con sus propios resultados, obtenidos en la resolución de problemas de Cinemática, al afirmar que los problemas fueron demasiado sencillos para el experto y que por tanto *"para obtener más información sobre la representación física sería necesario recurrir a problemas más complejos"* (p. 1339). Por otra parte, los estudios de Chi et al (1982) no consiguen reproducir una fracción significativa de los resultados anteriores que habían servido para caracterizar el comportamiento de los expertos; incluso algunas diferencias expertos-novatos aportadas por tales investigadores son matizadas al insinuar que podrían aplicarse a novatos correspondientes al grado B pero no a los del grado A (nivel de calificación superior).

Tales investigaciones, lejos de resultar contradictorias entre sí están, de hecho, reflejando una propiedad esencial de la dimensión experto/novato, a saber, su carácter continuo. Como han destaca-

do Smith et al (1984) sobre la base de un estudio realizado con problemas de Genética, la expertez, al menos en este tipo de problemas, es un continuo más que una dicotomía. Se trata, más bien, de un atributo complejo observable mediante algunos de los procedimientos empleados en los estudios anteriores, o incluso mediante otros nuevos, cuyos valores posibles no corresponden únicamente a los extremos de tal dimensión sino, probablemente, a todos los intermedios.

Desde la óptica de la enseñanza/aprendizaje científicos el objetivo de caracterizar, lo mejor posible, la expertez presenta un interés secundario; no se trata, en este caso, de averiguar cuáles son los rasgos que definen básicamente el conocimiento del experto para facilitar la implementación de un sistema artificial que los simule, sino más bien de investigar la transición hacia la expertez que constituye todo aprendizaje científico efectivo. Si bien los principales estudios expertos/novatos se dirigieron a la Física como disciplina y al tipo de problemas que le son característicos, esta nueva y reciente orientación ha producido resultados abundantes en el ámbito de la Genética (Smith et al, 1984, 1988; Good et al, 1987; Simmons, 1988) y de la Química (Camacho et al, 1989; Gabel et al, 1984) y sólo aisladamente en el de la Física (Finegold et al, 1985).

La perspectiva que nosotros asumimos, y que conforma el contenido del estudio recogido en el capítulo 7, incorpora básicamente, la herencia metodológica de las investigaciones expertos/novatos pero desplaza el centro de atención de los físicos expertos a los alumnos buenos resolventes y de los novatos a los alumnos malos resolventes. Utilizando la imagen del espectro continuo nuestro enfoque restringe el dominio de análisis y de reflexión a la zona intermedia de dicho espectro que es, precisamente, la que más importa en un contexto real de aprendizaje. Los sujetos de interés deben ser entonces los buenos o relativamente buenos estudiantes, es decir, alumnos suficientemente formados entre los cuales aparecen diferencias apreciables cuando se eleva convenientemente el nivel de dificultad de los instrumentos empleados. Tales diferencias no sólo suministrarán una idea más ajustada sobre las características del conocimiento de los alumnos y de su influencia en la resolución efectiva de problemas sino que, además, pueden servir como elemento de apoyo en el diseño de esa transición hacia la expertez.

Por otra parte, y en el plano correspondiente a la psicología del conocimiento entendida en sentido estricto, dicha orientación puede ser considerada como una estrategia de aproximación al problema más general del conocimiento científico, ya que permite elucidar estructuras cognitivas, que aun cuando referidas a dominios de contenido ricos semánticamente, son mucho más simples que las que corresponden a los auténticos expertos.

CAPITULO 4

LA CUESTION DE LAS DIFERENCIAS INDIVIDUALES

1. Introducción

En esta última década, y desde diferentes ámbitos de la educación científica, la cuestión de las diferencias individuales se ha ido definiendo como un factor a considerar en las investigaciones sobre la enseñanza y el aprendizaje científicos. Así, y dentro de un marco piagetiano, diferentes investigadores han llamado la atención sobre la necesidad de tomar en consideración los llamados *factores prácticos del razonamiento formal*. De acuerdo con M.C. Linn (1982), son factores que influyen en la aplicación de una estrategia teóricamente disponible, tales como la experiencia previa con el contenido de la tarea, la familiaridad con las instrucciones de la tarea o el estilo de personalidad del estudiante, y que permiten explicar las diferencias observadas en el sujeto entre su competencia para la realización de operaciones de razonamiento formal y su actuación en circunstancias o contextos diferentes (Carretero, 1980; Neimark, 1979).

Esta reorientación de las investigaciones sobre el razonamiento humano ha confluído con las procedentes de la psicología diferencial y, en particular, con las relativas a la dependencia/independencia de campo (DIC) como dimensión del estilo cognitivo (Witkin et al, 1985), la cual ha sido identificada como uno de los factores prácticos del razonamiento formal (Linn, 1982; Carretero, 1980; Huteau, 1980; Witkin et al, 1977a). Dicho constructo psicológico debido a Witkin y col (Witkin et al, 1981) ha alcanzado a la Educación Científica por otras vías además de las procedentes de

la escuela de Ginebra, lo que mantiene intacto su interés, precisamente en una época en la que el impacto del paradigma piagetiano como tal en la didáctica de las ciencias parece haber tocado techo (López Rupérez, 1989a).

Sin embargo, y a pesar de la consolidación de la dependencia/ independencia de campo como constructo psicológico, con frecuencia es ignorada en investigaciones sobre la enseñanza-aprendizaje científicos en las que, por su propia naturaleza, debería ser tomada en consideración. El propio Witkin (Witkin et al, 1977a) reconoce que:

“Entre los estilos cognitivos estudiados hasta la fecha, la DIC ha sido la dimensión en la que más se ha profundizado y la que posee una aplicación más amplia a los problemas educativos... aunque la investigación sobre las aplicaciones a la educación se encuentra todavía en sus primeras etapas” (p. 1).

En un sentido semejante se manifiestan Palacios et al. (1982) cuando afirman:

“... es necesario que las diferencias individuales en la cognición sean conocidas en los ambientes profesionales de la psicología y la educación —que no lo son en absoluto o lo son sólo insuficientemente— y, sobre todo, que se desarrolle entre nosotros la investigación empírica en torno a los problemas asociados con dichas diferencias, que es la forma más efectiva de hacerles frente, aunque no sea la más directa” (p. 103).

Cuestiones tan próximas al tema y a los procedimientos de la presente investigación como la interacción aptitud-tratamiento (Koran et al, 1984; Holliday, 1979) el problema de las preconcepciones o marcos alternativos de los alumnos (Driver et al, 1985), el comportamiento creativo (Nickerson et al, 1985) o la resolución de problemas (Tuma et al, 1980) no son independientes del estilo cognitivo del que aprende. En lo que sigue, describiremos someramente las características de este constructo y efectuaremos una revisión de las implicaciones de la DIC en los temas anteriormente referi-

dos, haciendo un hincapié especial en lo relativo a la resolución de problemas que, en cierta medida, los engloba.

2. La dependencia/independencia de campo como expresión de las diferencias individuales

La formulación del constructo dependencia/independencia de campo se incorpora al proceso emprendido por Witkin y col. de elaboración de una teoría de la diferenciación psicológica que permite explicar las diferencias individuales, integrando en ella tanto los aspectos biológicos como culturales (Fernández Ballesteros, 1980; Witkin et al, 1979). En este contexto, la dimensión DIC del estilo cognitivo constituye uno de los factores más representativos de las diferencias individuales.

La DIC es considerada como un rasgo característico y estable de la personalidad del individuo que se manifiesta tanto en sus actividades perceptivas como intelectuales. En palabras del propio Witkin (Witkin et al, 1977a)

“constituye el enfoque característico que aporta la persona ante una amplia gama de situaciones —lo que nosotros llamamos «estilo»—... y debido a que éste abarca sus actividades perceptivas e intelectuales le denominaremos su estilo cognitivo” (p. 10).

Al tratarse de un constructo dipolar los sujetos se distribuyen en el continuo DC-IC, de ahí que se consideren relativamente dependientes o relativamente independientes de campo. Un sujeto relativamente independiente de campo tiende a considerar el campo perceptivo como algo articulado en el cual se distinguen sus componentes como discretos y es capaz de imponerle una estructura en el caso de que careciese de ella o fuera precaria. Por contra, la percepción de los sujetos relativamente dependientes de campo es más global y su capacidad para romper la estructura de un campo organizado es menor (Witkin et al, 1977a; 1985). Por otra parte, se ha demostrado empíricamente que tales diferencias relativas a la percepción están correlacionadas con comportamientos intelectua-

les homólogos. Así, los sujetos dependientes de campo presentan dificultades para desenmascarar una información incorporada a un contexto dado o para efectuar su restructuración. Frente a este enfoque global o difuso en la forma en que el sujeto dependiente de campo procesa la información, el enfoque característico del independiente de campo es analítico o articulado.

Junto con estas características del constructo DIC relativas al funcionamiento cognitivo del individuo, existen otras apoyadas igualmente en una amplia evidencia empírica que señalan diferencias importantes en lo que respecta a la personalidad del sujeto y a su conducta social (Witkin et al, 1977a; 1985). Así, los sujetos DC están más influenciados por las referencias sociales frente a los IC cuyos referentes son de tipo interno. Los sujetos DC son descritos por las personas próximas a ellos como "sociables" y participativos en tanto que los IC se caracterizan por ser solitarios, individualistas, fríos y distantes (Elliot, 1961).

En definitiva, y como resume certeramente Fernández Ballesteros (1980) en su revisión del constructo DIC:

"Los sujetos DC están atentos a los puntos de vista y opiniones del prójimo, son sensibles a los referentes sociales, muestran una orientación interpersonal, sienten interés por la gente, están abiertos emocionalmente hacia otros. Por el contrario, los sujetos IC muestran actitudes y habilidades contrarias a los DC" (p. 476).

La figura 4.1 (adaptada de Corral, 1982) destaca, en forma gráfica, las características fundamentales del continuo IC-DC.

Tales diferencias se traducen, por otra parte, en elecciones educativo-vocacionales de diversa índole que tiene su repercusión no sólo en el ámbito universitario (Witkin et al, 1977b), sino también en la etapa temprana de la elección de las diferentes opciones curriculares (ciencias, letras, mixtas) a nivel de la enseñanza secundaria (López Rupérez et al, 1987).

Aun cuando las variables de personalidad tienen una influencia indudable en el aprendizaje, en lo que sigue centraremos preferentemente nuestra atención en los aspectos de funcionamiento cognitivo afectados por la DIC que resultan relevantes en el ámbito de la instrucción científica.

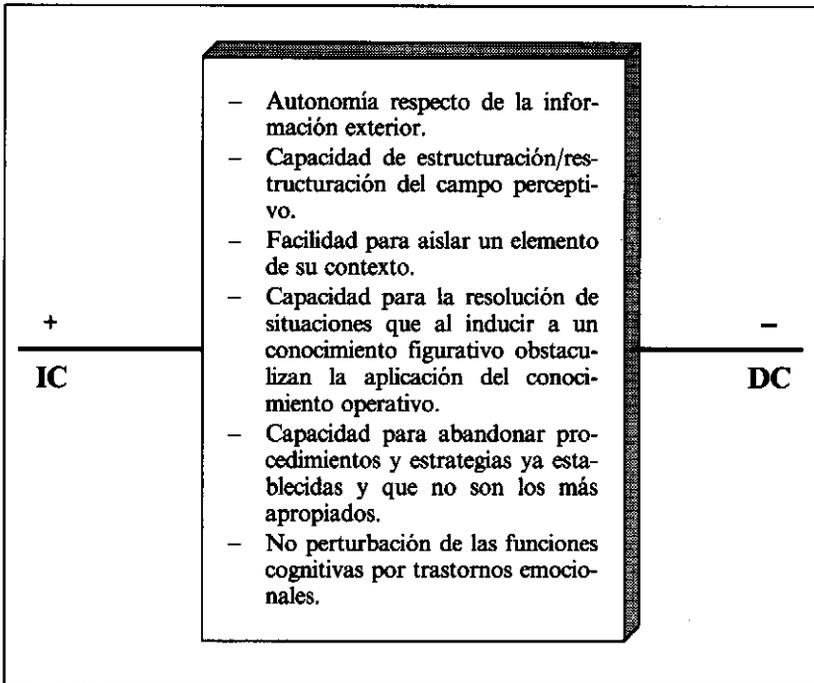


FIGURA 4.1.: Características de la dimensión dipolar dependencia/independencia de campo considerada como un continuo IC-DC. Cuanto más desplazada está la ubicación del sujeto hacia el polo IC, dentro de ese continuo, más se acentúan los rasgos descritos en el cuadro.

3. La DIC y la corriente de investigación A.T.I.

Las siglas ATI corresponden a las iniciales de los términos Aptitude-Treatment-Interaction y definen una línea de investigación dirigida a analizar cómo las diferencias individuales pueden modificar los efectos de un mismo tratamiento educativo (Cronbach, 1957). En este contexto la **aptitud** ha sido definida como cualquier característica del sujeto que funciona selectivamente con respecto al aprendizaje (Koran et al, 1984), es decir, que facilita o interfiere con el aprendizaje efectuado sobre la base de algún método instructivo convenientemente diseñado (Cronbach et al, 1975;

1977). Por su parte, el **tratamiento**, aunque puede ser interpretado en un sentido muy amplio, hace referencia, por lo general, a algún aspecto de la instrucción relativo a su estructura, estilo o metodología que ha de satisfacer, en cualquier caso, la condición de estar bien definido.

De acuerdo con la noción general de interacción entre dos variables estadísticas (Blalock, 1986) existirá interacción entre la aptitud y el tratamiento cuando un tratamiento instructivo resulte significativamente mejor para un tipo de estudiantes que para otros. En términos estadísticos la existencia de interacción queda reflejada en una falta de paralelismo entre las diferentes rectas de regresión correspondientes a la pareja de variables aptitud-rendimiento y relativas cada una de aquéllas a tratamientos diferentes. La figura 4.2, que ha sido adaptada de Koran et al (1984), ilustra tal extremo para dos hipotéticas situaciones experimentales distintas.

La DIC constituye una variable altamente representativa de las diferencias individuales y puede ser, en principio, tratada como un exponente aptitudinal del sujeto frente al aprendizaje científico. Junto con la DIC otras variables distintas han sido consideradas como aptitudinales. Una revisión de estudios ATI, referidos a esas otras variables en el ámbito de la educación científica, ha sido efectuado por Holliday (1979). Sin embargo, y como han señalado Ronning et al (1984), la DIC presenta ventajas entre las que caben destacar las siguientes:

- a) La naturaleza del correspondiente constructo psicológico y sus implicaciones educativas son relativamente claras (Witkin et al, 1977a).
- b) Existe un considerable cuerpo de investigación que está, además, guiado por una teoría (Fernández Ballesteros, 1980).
- c) Se dispone de instrumentos de medida cuya validez y fiabilidad han sido demostrados y cuya aplicación es factible en contextos de investigación no excepcionales (Fernández Ballesteros, 1980).

Debido a la amplitud de la noción de tratamiento, la corriente de investigación ATI constituye, entonces, un marco amplio de referencia en lo que respecta al análisis de las relaciones entre la DIC y el aprendizaje científico. En este contexto pueden ser consi-

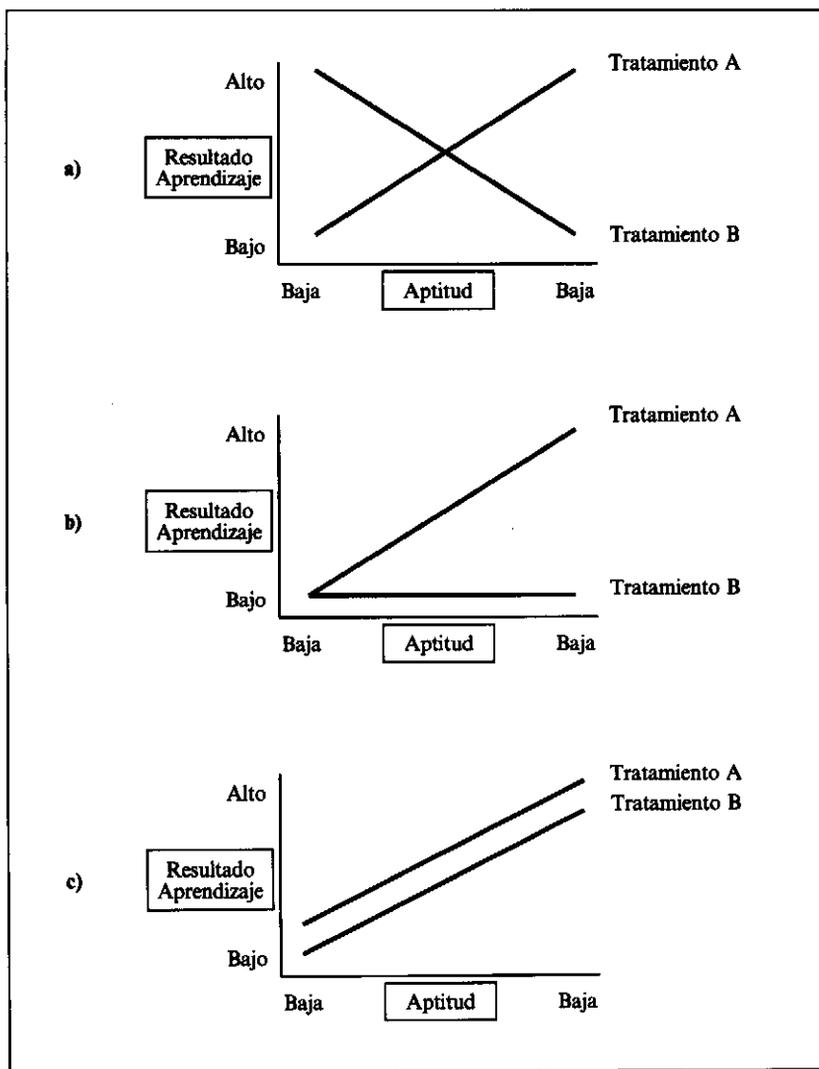


FIGURA 4.2.: Representación gráfica de algunos tipos de interacción aptitud-tratamiento. El tipo a) recibe el nombre de *interacción disordinada* y sugiere una inversión del tratamiento en la mitad superior del rango de aptitud si se desean conseguir resultados óptimos. El tipo b) se denomina *interacción ordinal* e indica qué tratamiento elegir para mejorar los resultados, en este caso, en la mitad superior del rango de aptitudes. El tipo c) indica *no interacción* (Adaptada de Koran et al., 1984).

derados, a modo de ejemplo, los estudios de Strawitz (1984a y b) sobre adquisición y transferencia de la habilidad para el control de variables o el trabajo de Shymansky et al (1980) sobre la enseñanza por descubrimiento.

Strawitz (1984b) ha efectuado una investigación ATI sobre una muestra de sujetos de 10-12 años de edad considerando como variable aptitudinal la DIC, como producto de aprendizaje la habilidad para el control de variables y como tratamientos los siguientes:

- i) Se enseña a controlar variables en tres sesiones tutoriales de 25 minutos cada una y, a continuación, los estudiantes trabajan individualmente con diferentes equipos de laboratorio (circuitos eléctricos, sistemas hidráulicos equivalentes, etc) en interacción con el profesor que los orienta y anima.
- ii) Utilizando el mismo tiempo y el mismo material que los del grupo i) los del grupo ii) siguen una enseñanza del tipo de libre investigación sin "feedback" ni dirección del profesor.
- iii) Se trata realmente de una ausencia de tratamiento, de modo que el grupo correspondiente constituye el grupo de control.

De los resultados obtenidos en esta investigación destacamos los siguientes:

- a) Los sujetos IC controlan mejor las variables que los DC.
- b) Para los sujetos DC el tratamiento i) fue significativamente más efectivo que los tratamientos ii) y iii) cuyos efectos no fueron significativamente diferentes.
- c) Para los sujetos IC el tratamiento i) fue más efectivo que el iii) para todas las tareas de control de variables utilizadas como pruebas mientras que el tratamiento i) fue significativamente más efectivo que el ii) y ésta más que el iii) sólo para dos de las tres tareas empleadas.
- d) El tratamiento i) fue igualmente efectivo para los sujetos DC que para los IC en todas las tareas; sin embargo, el tratamiento ii) fue significativamente más efectivo para los IC que para los DC.

En resumen, el tratamiento i) fue más potente porque proporcionó estrategias para aquellos estudiantes (DC) incapaces de idear las suyas propias y supuso en todos los casos (DC e IC) una mayor dirección por parte del profesor.

En el trabajo de Shymansky et al (1980) se consideró como variable aptitudinal la DIC, como producto del aprendizaje una combinación de actuación en laboratorio y rendimiento ante ítems mezcla de contenidos y de procesos y como tratamientos la exposición de cada grupo a unidades didácticas de descubrimiento con las siguientes características bien diferenciadas:

- i) Semideductivas
- ii) Inductivas estructurales
- iii) Hipotético deductivas

Los resultados del citado trabajo indican que:

- a) Los sujetos IC rinden significativamente más que los DC cuando se utiliza una estrategia de enseñanza semideductiva que fue la de menor nivel de estructuración y la de mayor grado de individualización.
- b) Los sujetos DC ante las estrategias inductiva estructurada e hipotético deductiva —con mayor grado de estructuración y, por tanto, menor exigencia de autoorganización— no se diferenciaron apreciablemente de los IC.

La coherencia entre los resultados en ambas investigaciones y las predicciones del constructo DIC confirman la importancia de dicha variable cognitiva en contextos de instrucción científica y subrayan la oportunidad del enfoque ATI en la investigación en didáctica de las ciencias como un procedimiento adecuado a la hora de tomar en consideración las características individuales del sujeto que aprende.

4. DIC y creatividad

El estudio de la creatividad y de sus implicaciones educativas ha llamado, desde hace algún tiempo, la atención de los psicólogos (Weisberg, 1987; Nickerson et al, 1985; Romo, 1987; Beaudot,

1980) y, en menor medida, de los investigadores en didáctica de las ciencias (Garret, 1987; Moravcsik, 1981; Washington, 1971). La elaboración de una definición general de creatividad ha sido objeto de no pocas aproximaciones (Garret, 1987); incluso la oportunidad de un enfoque global del problema ha sido puesto en entredicho. Así, por ejemplo Guilford (1980), uno de los investigadores que más ha contribuido a la fundamentación teórica y empírica de la creatividad afirma:

“Las hipótesis siguientes sobre la naturaleza del pensamiento creativo han sido formuladas teniendo en cuenta sobre todo cierto tipo de individuos creativos: científicos y técnicos, incluyendo los inventores. Los filósofos parecen todos de la opinión de que la creatividad es de la misma naturaleza en todas partes donde se la encuentra, idea que yo no comparto. En el marco de referencia factorial pueden existir numerosos tipos de aptitudes creadoras. Lo que convierte a un inventor, a un artista y a un compositor en creativos presenta, quizás, factores comunes, pero existen muchas posibilidades de variación en la estructura de las aptitudes” (p. 30).

Los rasgos de la creatividad identificados por Guilford en su investigación preliminar son, básicamente, los siguientes (Romo, 1987):

- 1) **Sensibilidad hacia los problemas:** refleja la aptitud para identificar o reconocer situaciones problemáticas.
- 2) **Fluidez de pensamiento:** se relaciona con la cantidad de ideas que uno es capaz de producir espontáneamente sobre un aspecto determinado.
- 3) **Flexibilidad intelectual:** capacidad para abandonar concepciones o estrategias inservibles y adoptar otras nuevas y eficaces.
- 4) **Originalidad:** es considerada como el rasgo esencial de la creatividad que se manifiesta, no sólo en un comportamiento intelectual infrecuente, sino en la habilidad para efectuar asociaciones remotas.

- 5) **Redefinición:** es una aptitud para la reorientación de un problema o la reorganización de los elementos presentes en una situación problemática.
- 6) **Evaluación:** es la capacidad de valorar el producto de una actividad creadora.

Estas ideas germinales de Guilford, características de su primera elaboración teórica, han influido notablemente en la literatura sobre creatividad. Dicha influencia puede reconocerse de forma ya sea explícita ya sea enmascarada, en multitud de trabajos sobre el tema (Garret, 1987; Nickerson et al, 1985; Jakson et al, 1985).

En una posterior construcción teórica Guilford propuso su modelo de la estructura del intelecto (EI) como marco teórico para el desarrollo de su noción de creatividad, que reposa en una concepción multifactorial del intelecto como conjunto integrado por aptitudes distintas y relativamente independientes. Guilford (1976) ilustra gráficamente su teoría mediante un cubo cuyas aristas corresponden a otras tantas dimensiones de la inteligencia: la dimensión de **contenidos**, la dimensión de **productos** y la dimensión de **operaciones**. Cada una de estas dimensiones comprende, a su vez, otras tantas subcategorías arrojando un total de 120 celdillas (figura 4.3). Los cortes del cubo que corresponden a la **producción divergente** y a la **producción convergente** constituyen los aspectos implicados más directamente en la teoría de la creatividad de Guilford (Romo, 1987). El grupo de Guilford ha incorporado los rasgos de fluidez, flexibilidad y novedad u originalidad a la noción de pensamiento divergente a modo de atributos o características fundamentales del mismo (Wallach, 1980).

En la revisión de Nickerson et al (1985), se destaca la imposibilidad de separar el **pensamiento crítico** —que recuerda, por otra parte, a la **evaluación** en la descripción inicial de Guilford y a la producción convergente en el modelo EI— del **pensamiento creativo**. El producto de una creación es la consecuencia de operaciones de generación de posibilidades originales (producción divergente) y del filtrado crítico correspondiente (producción convergente). Tales operaciones presentan, con frecuencia, un carácter interactivo; así la generación de diferentes posibilidades no se produce necesariamente de una forma simultánea, sino que dicho proceso es afectado por la operación de filtrado. Una tal interacción entre pensa-

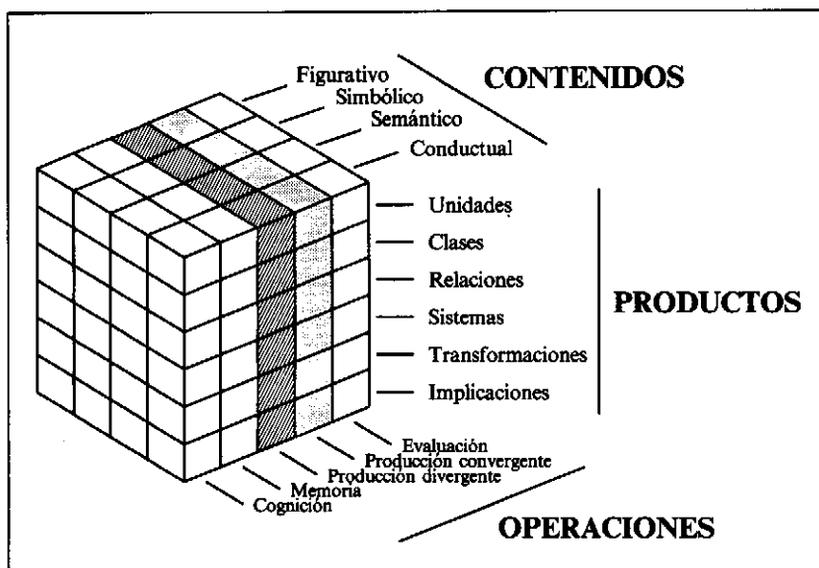


FIGURA 4.3.: Representación del conocido cubo de Guilford que ilustra su modelo de la estructura del intelecto (EI) como entidad multifactorial. Los segmentos del cubo especialmente destacados en la figura son los que más interesan a la creatividad.

miento original y pensamiento crítico se relaciona de un modo directo con el procedimiento de las aproximaciones sucesivas, considerado como uno de los heurísticos para la resolución de problemas habitualmente utilizado por los expertos y que constituye, a su vez, una de las características fundamentales del trabajo científico (López Rupérez, 1987).

La relación natural entre creatividad y resolución de problemas ha sido una de las más importantes vías de penetración de dicha temática de investigación en el ámbito de la educación científica. La creatividad es considerada como un aspecto fundamental de la resolución de problemas (Frederiksen, 1984; Nickerson, 1985; Garret, 1987). Algunos investigadores (Purtz-Osercoh, 1974; Calkins et al, 1984) han incorporado, de hecho, las nociones fundamentales del pensamiento creativo a la hora de definir un modelo general de resolución de problemas (creativos). La figura 4.4 muestra, en forma esquemática, los aspectos esenciales de este procedi-

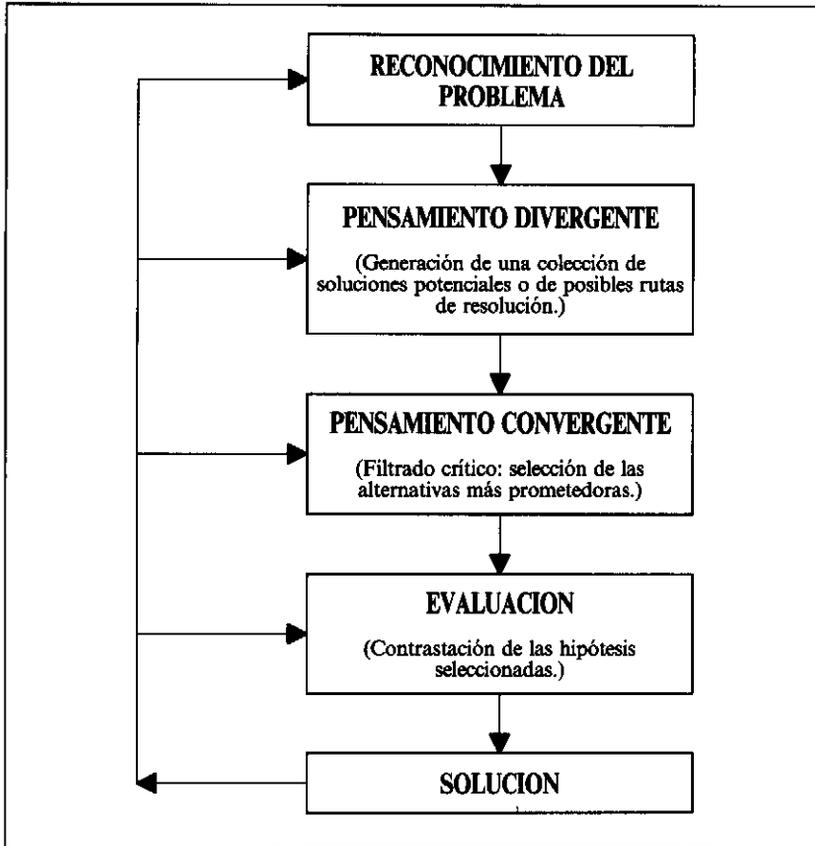


FIGURA 4.4.: Modelo general de resolución creativa de problemas (Adaptado de Calkins et al., 1984). El carácter cíclico del modelo recuerda, claramente, el procedimiento genérico de las aproximaciones sucesivas.

miento general en el que la conexión con las anteriores nociones de la creatividad se hace evidente.

La existencia de una cierta proximidad entre las características del pensamiento creativo anteriormente descritas y las correspondientes a la dimensión DIC del estilo cognitivo, ha llevado a diferentes investigadores a postular una relación entre ambas (Guilford, 1980). Diversos estudios han encontrado relaciones entre la DIC y distintos exponentes del pensamiento creativo (Smi-

lansky, 1986; Noppe, 1985; Calkins et al, 1984; Morris et al, 1978; Noppe, 1978; Mc Carthy, 1977).

Como ha señalado Romo (1986) existe una proximidad semántica entre la independencia de campo (ver figura 4.1) y la flexibilidad de pensamiento de Guilford. En efecto, la capacidad atribuida a la independencia de campo para abandonar procedimientos y estrategias ya establecidas y que no son los más apropiados, se parece enormemente a la noción de flexibilidad como característica del pensamiento creador (Guilford, 1980). En este orden de ideas se ha llegado a afirmar que la creatividad es una característica específica de los sujetos independientes de campo que, además, son flexibles.

Por otra parte, en el estadio actual de evolución de la teoría de Guilford se considera la flexibilidad del pensamiento como exponente de una aptitud general para las transformaciones, o cambios de diferente naturaleza, tales como redefiniciones, transposiciones, revisiones o modificaciones en la información disponible, constituyendo dicha aptitud general una contribución importante a la definición del pensamiento creador (Romo, 1987). La habilidad que presentan los sujetos independientes de campo para estructurar o reestructurar el campo perceptivo, e incluso la información no perceptiva (Witkin et al, 1981), parece próxima a esta aptitud para transformar la información existente.

Así pues, la consideración de la variable DIC resulta especialmente apropiada en investigaciones sobre pensamiento creativo y, particularmente, en los estudios sobre resolución de problemas correspondientes a enfoques abiertos. Si en ellos se pone a prueba algún modelo instructivo concreto, la consideración de la DIC, a propósito de la interacción aptitud-tratamiento, parece entonces obligada.

5. DIC y marcos alternativos

Debido, en parte, a la juventud del llamado "movimiento de las concepciones alternativas" (Gilbert et al, 1985) y, en parte, al distanciamiento de tal movimiento respecto de las técnicas psicométricas a las que la DIC —aunque sólo de una forma superficial—

parece recordar, lo cierto es que el número de trabajos que conjugan DIC y marcos alternativos es realmente escaso (Corral, 1982). Sin embargo, investigaciones sobre el papel de la DIC en la generación de las preconcepciones o en su persistencia podrían contribuir a mejorar la comprensión de un fenómeno de claras resonancias cognitivas y con implicaciones tan importantes en la enseñanza/aprendizaje científicos.

Entre los diferentes factores que pueden explicar el origen de los marcos alternativos algunos están directamente relacionados con elementos perceptivos. Como han señalado Driver et al (1985) los alumnos presentan un pensamiento dominado por la percepción; ante situaciones problemáticas tienden a basar sus razonamientos en aspectos directamente observables más que en modelos mentales, característicos del pensamiento científico, que incluyen entidades que, en el mejor de los casos, sólo pueden ser percibidos de un modo indirecto. Las diferencias que presentan los sujetos independientes de campo frente a los dependientes de campo en el funcionamiento perceptivo podrían tener, entonces, su repercusión en la generación de preconcepciones. Así, los sujetos IC al percibir el campo de un modo articulado dispondrán de una información perceptiva mejor organizada, lo que podría facilitar la elaboración de modelos mentales más sofisticados y más próximos a los que pueda aportar la instrucción científica a un nivel escolar (Huteau, 1980).

Otro aspecto de las preconcepciones no demasiado distante del anterior, y en el que el constructo DIC tiene algo que decir —o más bien predecir— es en lo relativo a la estabilidad de los marcos alternativos. Con una intención de referencia no sólo conceptual sino incluso terminológica, traemos a colación la siguiente cita de Driver (1986):

“En algunas situaciones las construcciones ya existentes son utilizadas para encontrar el sentido de las experiencias sin que sean necesarios grandes cambios en la estructura conceptual del sujeto. En otras el acto de dar sentido implica un proceso analógico durante el cual las ideas existentes son utilizadas de una nueva forma, conduciendo posiblemente a una nueva construcción. Este proceso de cambio en la organización o reestructuración

presenta interés en la enseñanza de la Física dado que es este tipo de aprendizaje el que sería necesario que se produjese en los alumnos. Es preciso, sin embargo, dejar claro que los cambios en la estructura conceptual no tienen lugar fácilmente” (p. 11).

Nos encontramos de nuevo con la habilidad de reestructuración, ahora en el marco de las preconcepciones, como factor determinante de la estabilidad —o más exactamente de su inverso— de los marcos alternativos. Como ha señalado Witkin (1985), en el funcionamiento intelectual de los sujetos dependientes de campo se observa una diferencia, respecto de los independientes, en la capacidad de reestructuración similar a la que se ha observado en las actividades perceptivas. Tal circunstancia no sólo puede explicar la relación observada entre DIC y creatividad sino que predice una menor estabilidad de las preconcepciones en los sujetos IC para los cuales el cambio conceptual podría efectuarse con mayor facilidad.

El trabajo preliminar de Corral (1982) parece indicar, en efecto, que los sujetos DC presentan una mayor dificultad que los IC para modificar sus concepciones espontáneas. Ante una versión del problema piagetiano de la caída de los cuerpos por un plano inclinado —como instrumento para poner a prueba el esquema de control de variables (Inhelder et al, 1955)— Corral encuentra que, de los cinco sujetos que después de haber efectuado la prueba siguen considerando la longitud de la rampa como variable relevante, cuatro son DC y describe con cierto detalle el razonamiento de uno de ellos, lo que le permite ejemplificar la mayor resistencia que presentan los sujetos DC a abandonar procedimientos aun cuando resulten inapropiados. Finalmente las estrategias, anteriormente descritas, para promover los conflictos cognitivos (Pozo, 1987) por sus propias características tenderán a favorecer a los sujetos con un estilo cognitivo analítico-articulado o IC frente al global o DC.

La dimensión DIC constituye, por tanto, una variable relevante en el estudio de las preconcepciones que debería ser tomada en consideración con más frecuencia. El análisis de su influencia podría mejorar la comprensión de este fenómeno, desde un punto de vista cognitivo, al contribuir a una explicación más fina que la de inspiración epistemológica ofrecida por Posner et al (1982).

6. DIC y resolución de problemas

La necesidad de tomar en consideración las diferencias individuales a la hora de elaborar una teoría general de resolución de problemas ha sido planteada por diferentes investigadores (Ronning et al, 1984; Simon, 1979). Así, por ejemplo, Herbert Simon (1979), uno de los más destacados representantes de la corriente investigadora en resolución de problemas, ha señalado lo siguiente:

“Las diferencias individuales pueden ser acomodadas en los modelos de procesamiento (de la información) al menos en dos formas diferentes. En primer lugar, los individuos pueden diferir en los predicados primitivos y en las relaciones disponibles para la formación de conceptos... Incluso si los individuos usan los mismos predicados básicos, las mismas relaciones y los mismos procesos, su comportamiento ante una tarea dada puede ser diferente si utilizan estrategias distintas para organizar estos elementos” (p. 380).

Descendiendo al ámbito más restringido de la dimensión dependencia-independencia de campo, el mayor volumen de investigaciones relativas a la relación entre la DIC y la resolución de problemas se inserta en el marco teórico piagetiano o neopiagetiano (Huteau, 1980) de modo que, en tal caso, los problemas considerados son, o bien tareas piagetianas, o bien problemas de lápiz y papel de contenido análogo. Los resultados obtenidos muestran una cierta consistencia que puede resumirse en los siguientes puntos:

- a) Los sujetos independientes de campo son capaces de conseguir una representación del espacio más articulada que los dependientes. Además, este tipo de destrezas aparece antes en los sujetos IC (Huteau, 1980).
- b) Existe interacción entre el estilo cognitivo y la naturaleza de las tareas piagetianas o, dicho en otros términos, la dimensión DIC influye en ciertos aspectos del pensamiento formal pero no en otros (Huteau, 1980; Linn, 1978). Así, por ejemplo, la DIC correlaciona significativamente con

pruebas de control de variables (Corral, 1982; Huteau, 1980; Linn, 1978; Lawson, 1976) o de razonamiento probabilístico (López Rupérez, 1986; Huteau, 1980), menos significativamente con tareas de razonamiento combinatorio, y de forma estadísticamente no significativa con tareas de conservación, de clasificación-seriación y de lógica de proposiciones (López Rupérez et al, 1991; Huteau, 1980).

- c) Existe interacción entre el estilo cognitivo y el formato de la prueba o el contexto de la tarea. Así, los sujetos IC aventajan a los DC en la realización de pruebas piagetianas de lápiz y papel si éstas son formales y abiertas, pero no existen diferencias significativas en el comportamiento de ambos tipos de sujetos si son cerradas (López Rupérez, 1986; Linn et al, 1978). De otra parte, ante contextos conflictivos o información enmascarada los sujetos IC aventajan a los DC en tareas de control de variables, pero tales diferencias de actuación se hacen no significativas cuando dicho factor, relativo a la organización de la información disponible, es eliminado de la tarea (Linn et al, 1978; Levine et al, 1977).

En un marco neopiagetiano Pascual-Leone (1969; 1974) ha propuesto una explicación de las diferencias observadas entre los sujetos IC y los DC en la resolución de problemas. Según dicho autor la DIC mediría la capacidad del sujeto para seleccionar, ante un problema dado, la estrategia más apropiada de entre las disponibles, o lo que es lo mismo, para activarla. Los sujetos IC dispondrían de una "función interruptor" más efectiva capaz de inhibir la activación de estrategias inapropiadas para la resolución del problema considerado. Dicha selección de estrategias o "esquemas ejecutivos" relevantes a las características del problema, está influenciada más fuertemente en los sujetos DC por factores, tanto de tipo perceptivo como afectivo, que interfieren negativamente en el proceso de búsqueda de la solución. Estudios más recientes (Linn et al, 1981) han identificado dos componentes de la DIC, el primero estaría relacionado con la habilidad de reestructuración cognitiva en tanto que el segundo mediría la capacidad de selección de las estrategias anteriormente descrita. En ambos casos se

trata de variables que, por su propia naturaleza, pueden resultar relevantes en la resolución de problemas científicos de tipo académico.

Dentro de un contexto estrictamente escolar y sobre dominios de contenido semánticamente ricos las investigaciones señalan, en su mayor parte, un efecto significativo de la DIC en la resolución de problemas, particularmente de Química, disciplina que, por razones meramente coyunturales, ha sido objeto más frecuente de estudio en este tipo de trabajos. Así Niaz et al (1985) no han encontrado relación significativa entre la DIC y la habilidad para ajustar ecuaciones químicas utilizando un procedimiento de tanteo. Falls et al (1985) por el contrario, han comprobado sobre una muestra de 77 alumnos de Química de enseñanza secundaria que los estudiantes IC son más efectivos en la resolución de problemas de Química que implicaban razonamiento proporcional (problemas de conversión molar: mol/masa, mol/molécula y mol/volumen y problemas de estequiometría que suponían relaciones del tipo mol/mol, masa/masa en reacciones de síntesis, de descomposición y de desplazamiento). Los sujetos IC se mostraron mejores resolventes a la hora de extraer la información relevante de un enunciado que contenía tanto información relevante como irrelevante; asimismo, superaron a los DC cuando se trataba de utilizar en la resolución del problema información no presente de forma explícita en el enunciado.

Bodner et al (1986) sobre la base de una investigación efectuada en un nivel educativo universitario, postulan la existencia de una etapa holista en la resolución de problemas en la cual los alumnos deben desenmascarar o aislar de un contexto dado la información relevante, manejar simultáneamente los diferentes elementos del problema para desembocar en una reestructuración que transforma el enunciado en algo comprensible para el sujeto. Tal hipótesis permite explicar a dichos autores la relación obtenida por ellos entre la efectividad en resolución de problemas de Química y la DIC (o alguna de sus componentes).

Ronning et al (1984) en un trabajo no sólo empírico sino también de posicionamiento teórico destacan la importancia de tomar en consideración la cuestión de las diferencias individuales en la resolución de problemas y eligen la DIC como variable representativa de dichas diferencias. En su estudio correlacional recu-

ren a una colección variada de problemas de tipo académico y contenido diverso y encuentran relaciones moderadamente significativas con la DIC, aún después de controlar otras variables cognitivas, lo que les permite señalar las características del sujeto resolvente –junto con el dominio de conocimiento y los métodos de resolución de problemas– como una tercera componente a considerar en cualquier teoría de resolución de problemas.

Frente a estas muestras de evidencias positivas, Garret (1986), tomando como punto de partida sus propios resultados (Garret, 1984) destaca en su revisión *“la falta de una relación fuertemente significativa entre las preferencias global/analítica y la resolución de problemas en el área científica, a pesar de las evidencias de signo contrario procedentes de otros campos”* (p. 85). Señala, asimismo, como dificultad metodológica el hecho de que los estudiantes de ciencias sean en su mayor parte IC, lo que reduce el rango de variación efectiva de la variable DIC. No obstante, aún en tales circunstancias es posible apreciar relaciones estadísticamente significativas si se procede mediante una estrategia de investigación consistente en aislar componentes o “esquemas de razonamiento” diversos en la resolución de un problema dado. Tal procedimiento, desarrollado por nosotros en la presente investigación, se beneficia de los resultados de los estudios sobre tareas piagetianas que alertan al investigador respecto de la existencia de interacción entre el estilo cognitivo y la naturaleza del problema.

La resolución de un problema de contenido científico constituye una tarea intelectualmente compleja en la que pueden estar o no presentes elementos que correlacionen significativamente con la DIC. Algunas investigaciones parecen indicar la no existencia de relación significativa entre el estilo cognitivo y la efectividad en la resolución de problemas de fuerte componente verbal (Noble et al, 1985; Saarni, 1973). Sin embargo, y más allá de este enfoque holístico preliminar subrayado por Bodner et al (1986), en el proceso de resolución de problemas de Física, de Química o de Matemáticas, abundan los aspectos relativamente no verbales y, con cierta frecuencia, la representación figurativa del problema resulta crucial. Tales aspectos del funcionamiento intelectual parecen estar relacionados con la DIC de un modo más consistente (Witkin, 1985; Huteau, 1980).

La falta de homogeneidad en cuanto a estructura y tipo de exigencia cognitiva, característica de los problemas de contenido semánticamente rico podría, entonces, explicar tanto los resultados negativos subrayados por Garret (1986), en lo que respecta a la conexión entre DIC y efectividad en la resolución de problemas de ciencias, como los positivos descritos por otros autores. La investigación que bajo el título genérico ESTUDIO I se describe en el Capítulo 5 de la presente monografía, y que ha sido desarrollada sobre una colección de problemas de Física en un nivel preuniversitario, arroja resultados coherentes con dicha hipótesis explicativa.

Finalmente, la perturbación de las funciones cognitivas por factores afectivos o por trastornos emocionales característica de los sujetos DC puede tener su repercusión en la resolución de problemas académicos. Así, sobre la base de los resultados de los análisis de los protocolos de respuestas de los estudiantes, Ronning et al (1984) señalan que los sujetos DC no sólo tienden a evitar las tareas científicas sino que presentan una menor confianza en su propio conocimiento científico lo que, según estos autores, podría interaccionar con otras limitaciones del funcionamiento cognitivo características de este tipo de alumnos. En este mismo orden de ideas, el efecto perturbador, tan propio de las condiciones de examen, podría ser más importante para los sujetos DC. Esta sería otra razón añadida para tomar en consideración la DIC, particularmente, en aquellas investigaciones que se basan en resultados obtenidos sobre problemas de examen (Kempa, 1986).

En resumen, la resolución de problemas en dominios de contenidos semánticamente ricos en un contexto escolar constituye una tarea intelectualmente compleja que supone el empleo tanto de conocimiento declarativo como procedimental. Por tal motivo el análisis de la influencia de la DIC en la educación científica interesa en su totalidad a la resolución de problemas como dominio de investigación. Así, las preconcepciones del sujeto resolvente pueden interferir en la fase de análisis y elaboración cualitativa de la resolución de un problema de Física, por ejemplo, en la cual la componente de conocimiento conceptual es decisiva. De otro lado, la relación natural entre pensamiento creativo y resolución de problemas concierne más directamente a los aspectos procedimentales de la tarea, a la formulación de hipótesis, a la producción de estrategias tentativas, o a la transformación por analogía de algunas

conocidas en otras nuevas. Desde el punto de vista de la enseñanza, el empleo de métodos instructivos encaminados a la mejora por parte de los alumnos de su efectividad en la resolución de problemas está indudablemente afectado por la cuestión de la interacción entre aptitud y tratamiento. Aun cuando el nivel de consistencia en los resultados no sea del cien por cien, existe suficiente evidencia experimental como para asignar a la DIC un papel importante —como variable capaz de reflejar las diferencias individuales— en una investigación sobre didáctica de las ciencias en general, y sobre resolución de problemas en particular, que pretenda tomar en consideración las características del sujeto que aprende.

CAPITULO 5

ESTUDIO I: DEPENDENCIA/INDEPENDENCIA DE CAMPO, MAPAS CONCEPTUALES Y RESOLUCION DE PROBLEMAS DE FISICA

1. Introducción

Los mapas conceptuales presentan un interés indudable como instrumento de enseñanza/aprendizaje. Dentro de este clase de mapas, los de tipo Novak (Novak et al, 1984) gozan del apoyo natural de la teoría de Ausubel del aprendizaje significativo (Ausubel et al, 1976) de la cual se derivan a modo de desarrollo tecnológico-didáctico. Junto con ellos, aquellos otros mapas conceptuales que, al igual que los de Novak, poseen una estructura jerárquica, resultan compatibles, al menos en una primera aproximación, con diferentes perspectivas teóricas, compartidas por la Psicología cognitiva y por la Educación Científica, que defienden todas ellas una organización jerárquica del conocimiento como recurso para facilitar su uso y su recuperación en contextos diferentes (Gagné, 1972; Novak et al, 1984; Eylon et al, 1984); (ver, por ejemplo, la revisión de Eylon et al (1984)).

Desde un punto de vista práctico los mapas conceptuales tienen en su haber el contar con la valoración positiva —descrita en diferentes investigaciones y referida a contextos temáticos distintos— por parte de aquellos alumnos que fueron instruidos en su construcción y puestos en situación de utilizarlos como recurso de

aprendizaje (Brumby, 1983; Moreira et al, 1985) Pero, además, su empleo resulta perfectamente viable en las condiciones habituales del aula. No se trata, pues, de una "herramienta de laboratorio" sino de una ayuda a la instrucción aplicable en condiciones no excepcionales. A pesar de su interés potencial, su papel en orden a mejorar la efectividad en la resolución de problemas de Física de carácter cuantitativo no ha sido puesta a prueba suficientemente (Novak et al, 1983; Bascones et al, 1985).

Por su parte, el análisis de la influencia de la dimensión dependencia-independencia de campo en la resolución de problemas resulta de interés no sólo por lo que supone de tomar en consideración las diferencias individuales como factor relevante (Ronning et al, 1984) sino, además, porque el papel de dicha variable en el ámbito de la Educación Científica dista mucho de estar bien establecido (ver capítulo 4).

A la vista de lo anterior la presente investigación se planteó como objetivos fundamentales los siguientes:

- a) Evaluar qué añade por sí misma la construcción de mapas conceptuales de tipo jerárquico, en tanto que herramienta para promover la organización del conocimiento declarativo, en la efectividad en la resolución de problemas de Física.
- b) Analizar la relación entre la dimensión dependencia-independencia de campo y la resolución de problemas siguiendo una estrategia que considere la posibilidad de la existencia de interacción entre dicha variable y el tipo de tareas consideradas.
- c) Estudiar la interacción aptitud-tratamiento.

2. Metodología

2.1. MUESTRA

La muestra sobre la que se desarrolló el presente estudio empírico estuvo definida por el nivel completo de los alumnos de COU de Ciencias del Instituto de Bachillerato "Cardenal Herrera

Oria" de Madrid (curso escolar 1986-87). La extensión de la muestra efectiva fue de 85 estudiantes.

La asignación grupo de alumnos-tratamiento fue efectuada al azar, de modo que el grupo C ($N = 31$) cuyas asignaturas optativas eran Química y Dibujo Técnico le correspondió el papel de grupo de control (tratamiento nulo) y a los grupos A ($N = 21$) y B ($N = 33$) con Química y Biología como optativas les correspondió el papel de grupo experimental. La descripción de las características del tratamiento será efectuada más adelante.

Como puede deducirse de lo anterior el muestreo fue relativamente incidental. Con este tipo de procedimiento de selección de muestra se corre el riesgo de introducir sesgos que afecten a la posibilidad de generalizar los resultados a la población. No obstante, el contemplar en el diseño experimental el control de las características individuales (en nuestro caso la DIC) resta, en cierta medida, importancia a dicho inconveniente. Por contra, un procedimiento tal permite un mejor control del tratamiento que un muestreo al azar, al menos en las condiciones en las que se desarrollan habitualmente este tipo de investigaciones.

2.2. HIPOTESIS

Es sabido que las técnicas estadísticas prueban directamente la hipótesis nula o hipótesis cero (Best, 1978), sin embargo, y en aras de una mayor claridad, en lo que sigue formularemos las hipótesis generales que han servido de guía a esta parte de la investigación en términos positivos o literarios y no en términos de no-diferencias.

1. Operando esencialmente sobre la organización del conocimiento declarativo, mediante la elaboración de mapas conceptuales, debe mejorarse la efectividad en la resolución de problemas en Física.
2. La variable DIC correlacionará significativamente con la efectividad en la resolución de problemas de Física si bien de un modo diferenciado, según sean las características de cada tarea.

3. Debido a las diferencias que presentan los sujetos DC frente a los IC en su funcionamiento cognitivo, el efecto del tratamiento debe ser más intenso en los sujetos DC.
4. Dadas las características de la DIC como constructo psicológico existirá interacción entre dicha variable y el carácter general/ estándar de los problemas.

2.3. INSTRUMENTOS Y VARIABLES

Los instrumentos de medida empleados en el desarrollo del presente experimento fueron, por una parte, una colección de seis problemas de examen de Física de nivel COU y, por otra, el test colectivo GEFT de Witkin y col. (Witkin et al, 1981). El comportamiento de los diferentes sujetos componentes de la muestra empleada fue operativizado mediante la definición de un conjunto de variables que se describe en lo que sigue. La interacción observada en tareas piagetianas entre las características de la tarea y el estilo cognitivo (Huteau, 1980) y, en un sentido más amplio, la reconocida importancia de la interacción entre aptitud y tratamiento (ver capítulo 4), nos ha llevado a optar por una estrategia de definición de variables orientada a hacer más efectiva y más completa la posterior tarea de análisis. Dicha estrategia queda resumida en las siguientes operaciones:

- a) Identificar sobre cada problema los diferentes esquemas de razonamiento que, a modo de estructuras unitarias relativamente independientes, configuran la resolución del problema en su conjunto. En este contexto, la noción de *esquema de razonamiento* que emplearemos se inspira en el concepto de *esquema* propio de la psicología cognitiva (Carreiras, 1986) y constituye, en nuestro caso, el exponente de una organización operacional del conocimiento que guía las inferencias del sujeto en la resolución de un problema o de una porción definida del mismo. Constituye, pues, una combinación de conocimiento declarativo y de conocimiento procedimental en la medida que supone conocimiento, comprensión y manejo conceptuales. Cada

- esquema de razonamiento identificado corresponderá a una “*variable atómica*” o elemental.
- b) Efectuar agrupaciones de esquemas de razonamiento por áreas de contenido definiendo de este modo nuevas variables secundarias, ahora de tipo “molecular”.
 - c) Efectuar agrupaciones de esquemas de razonamiento tomando como criterio la similitud procedimental existente entre ellos y definir a continuación la “*variable molecular*” correspondiente.
 - d) Efectuar agrupaciones de “variables moleculares” para definir “*variables molares*” que hagan referencia a aspectos más generales o inclusivos de la resolución de problemas.

Las tablas 5.1 a 5.6 presentan los enunciados de los problemas empleados como instrumentos de medida, así como la definición de las “variables atómicas” y su descripción verbal. Dicha descripción está planteada en términos de conductas observables consideradas como exponentes de esa estructura funcional de conocimientos que hemos denominado esquemas de razonamiento.

La tabla 5.7 muestra la agrupación de los esquemas relativos a un mismo problema y la definición de las “variables moleculares” correspondientes. La tabla 5.8 presenta, por su parte, las agrupaciones por procedimientos junto con la notación empleada para este tipo de variables. Finalmente, la operación d) se ha hecho efectiva estableciendo una distinción explícita entre problemas generales y problemas estándar. Dicha distinción, que ha sido ya referida en el capítulo 3 y descrita en otro lugar (López Rupérez, 1987), ha tomado en consideración las características concretas de la instrucción impartida. Así, un problema ha sido clasificado como **estándar** cuando el procedimiento de resolución estaba o podría estar disponible en la memoria del alumno por efecto de la instrucción recibida. Un problema ha sido clasificado como **general** cuando a pesar de suponer el manejo de conceptos desarrollados y aplicados anteriormente en actividades de lápiz y papel, llevaba consigo la utilización de un procedimiento nuevo, en tanto que algoritmo completo. La tabla 5.9 recoge la definición de este tipo de “variables molares” intencionalmente presentes en nuestra investigación.

TABLA 5.1.: Enunciado, resolución y esquemas de razonamiento correspondientes al problema n° 1.

PROBLEMA 1	
ENUNCIADO	
<p>Un cuerpo de 10 kg de masa se apoya sobre un plano inclinado 60° que puede moverse sobre la horizontal. En qué sentido debe desplazarse el plano y con qué aceleración para que, si se desprecia el rozamiento, el cuerpo no se mueva con respecto al plano. Calcula de nuevo la aceleración del plano si se acepta la existencia de rozamiento entre el cuerpo y el plano con un coeficiente igual a 0,3.</p>	
ESQUEMA DE RESOLUCION	
<p>a) $F_{iT} = P_T$ $ma \cos 60^\circ = mg \sin 60^\circ$ $a = g \operatorname{tg} 60^\circ$</p> <p>b) $P_T = F_{iT} + F_{ROZ}$ $F_{ROZ} = \mu N = \mu (F_{iN} + P_N)$ $mg \sin 60^\circ = ma \cos 60^\circ +$ $+ \mu (ma \sin 60^\circ + mg \cos 60^\circ)$ $g \sin 60^\circ - \mu g \cos 60^\circ =$ $= a (\cos 60^\circ + \mu \sin 60^\circ)$ $a = \frac{\sin 60^\circ - \mu \cos 60^\circ}{\cos 60^\circ + \mu \sin 60^\circ} \cdot g$</p>	
ESQUEMAS DE RAZONAMIENTO	
Variable	
(valores)	Descripción
RF11 (0,1)	Plantear la ecuación de equilibrio sin F_{ROZ}. Para lo cual el alumno debe manejar la noción de fuerza de inercia y demostrar una comprensión suficiente de su significado. Además, ha de manejar los esquemas de descomposición de los vectores en juego según las direcciones normal y tangente al plano.
RF12 (0,1)	Deducir la expresión de la aceleración. Para lo cual el alumno debe conocer la 2ª ley de Newton y su aplicación a movimientos bajo fuerzas constantes incluidas las del peso. Debe manejar analíticamente la descomposición de vectores, así como las operaciones básicas del álgebra elemental.
RF13 (0,1)	Plantear la ecuación de equilibrio con F_{ROZ}. Incluye al RF11 y supone, además, el manejo cualitativo del concepto de fuerza de rozamiento como fuerza que se opone al movimiento del cuerpo.
RF14 (0,1)	Deducir la expresión de la aceleración con F_{ROZ}. Incluye al RF12 y supone, además, el manejo cuantitativo del concepto de fuerza de rozamiento en las que la componente normal es una suma algebraica de componentes normales.

TABLA 5.2.: Enunciado, resolución y esquemas de razonamiento correspondientes al problema n° 2.

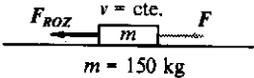
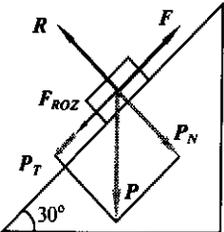
PROBLEMA 2	
ENUNCIADO	
<p>Un móvil de 150 kg es arrastrado por un motor de 20 CV moviéndose a 50 m/s sobre un plano horizontal. ¿A qué velocidad podría moverse sobre un plano inclinado 30°? El coeficiente de rozamiento para ambos planos es el mismo.</p>	
ESQUEMA DE RESOLUCION	
$P = Fv$ $F = \frac{P}{v} = F_{ROZ} = \frac{20 \cdot 735}{50} = 294 \text{ N}$ $\mu = \frac{F_{ROZ}}{mg} = \frac{294}{150 \cdot 9,8} = 0,2$ $F = P_T + F_{ROZ}$ $F = mg (\text{sen } 30^\circ + \mu \text{ cos } 30^\circ) = 997 \text{ N}$ $v = \frac{P}{F} = \frac{20 \cdot 735}{997} = 14,7 \text{ m/s}$	 
ESQUEMAS DE RAZONAMIENTO	
Variable (valores)	Descripción
RF21 (0,1)	Plantear la ecuación $F_{ROZ} = P/v$. Lo que supone el manejo de la ecuación de la potencia $P = Fv$, la identificación del movimiento como de aceleración nula, el manejo conceptual de la 2ª ley de Newton y la relación entre fuerza resultante (nula) y movimiento (constante) en un contexto en el que tal conexión aparece enmascarada (no se habla de aceleración, de fuerza de rozamiento ni de fuerza tractora); como consecuencia de lo anterior el alumno debe identificar la fuerza del motor asociada al dato de la potencia con la necesaria para vencer el rozamiento.
RF22 (0,1)	Deducir el valor del coeficiente de rozamiento. El alumno debe manejar operacionalmente la expresión que relaciona fuerza de rozamiento y coeficiente de rozamiento.
RF23 (0,1)	Plantear la determinación de la resultante $F = P_T + F_{ROZ}$. Lo que supone el manejo de los esquemas de descomposición de vectores y del concepto de fuerza de rozamiento como opuesta al movimiento. Además el alumno ha de manejar cuantitativamente la descomposición de vectores con el apoyo de los conceptos básicos de trigonometría.
RF24 (0,1)	Plantear de nuevo la ecuación $v = P/F$. Referida a unas condiciones físicas en las que manteniéndose constante la potencia los valores de la fuerza y de la velocidad han cambiado.

TABLA 5.3.: Enunciado, resolución y esquemas de razonamiento correspondientes al problema n° 3.

PROBLEMA 3	
ENUNCIADO	
<p>Una bola maciza y homogénea posee una masa de 1,0 kg y un diámetro de 0,10 m. Un cilindro posee igual radio e igual masa que el anterior. Ambos se lanzan hacia arriba desde el pie de un plano inclinado 30° con respecto a la horizontal. Sabiendo que su velocidad inicial es de 50 m/s, calcular las alturas máximas que alcanzarán cada uno de los cuerpos considerados si ambos ruedan sin deslizar.</p>	
ESQUEMA DE RESOLUCION	
<p>a) cilindro $\left(I = \frac{1}{2} mR^2\right)$</p> $\frac{1}{2} mv_1^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} mR^2 \frac{v_1^2}{R^2} = 0 + mgh_2$ $\frac{3}{4} mv_1^2 = mgh_2; \quad h_{2CIL} = \frac{3v_1^2}{4g}$	
<p>b) esfera $\left(I = \frac{2}{5} mR^2\right)$</p> $\frac{1}{2} mv_1^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5} mR^2 \frac{v_1^2}{R^2} = 0 + mgh_2$ $\frac{7}{10} mv_1^2 = mgh_2; \quad h_{2ESF} = \frac{7v_1^2}{10g}$	
ESQUEMAS DE RAZONAMIENTO	
Variable	
(valores)	Descripción
RF31 (0,1,2)	Plantear la ecuación más general de energía cinética de un sólido rígido. Además de conocer las expresiones correspondientes a las energías cinéticas de traslación y rotación debe saberlas aplicar. En este caso, aun cuando no se trate de una información explícita, el alumno debe reconocer que $E_{CROT} (1) > 0$.
RF32 (0,1)	Manejar la relación entre velocidad lineal y velocidad angular. Supone la aplicación de la ecuación $v = w \cdot R$ a un sólido que ruede sin deslizar.
RF33 (0,1,2)	Plantear la ecuación general de conservación de la energía mecánica para un sólido en rotación.
<p>NOTA: Recogemos aquí sólo el procedimiento energético y no el propiamente dinámico debido a que fue el elegido por todos los componentes de la muestra sin excepción.</p>	

TABLA 5.4.: Enunciado, resolución y esquemas de razonamiento correspondientes al problema n° 4.

PROBLEMA 4	
ENUNCIADO	
<p>Un bloque de madera de 1,50 kg de masa puede deslizarse con rozamiento ($\mu = 0,3$) por una mesa horizontal. En el borde de la mesa se sitúa una polea en forma de disco de 200 g de masa y 3,5 cm de radio de giro. El bloque se coloca inicialmente a una distancia de 1,5 m del borde y mediante una cuerda que pasa por la polea se une a otro de 3,0 kg de masa que cuelga verticalmente. Calcular la velocidad con la que el primer bloque alcanzará la polea y el tiempo que empleará en conseguirlo si la cuerda se supone tensa en el instante inicial.</p>	
ESQUEMA DE RESOLUCION	
$P_2 - F_{ROZ1} = (m_1 + m_2) a + \frac{I\alpha}{R}$ $a = \alpha \cdot R; \quad I = \frac{1}{2} mR^2 = mk^2$ $R = \sqrt{2k^2}$ $(m_2 - \mu m_1) g = (m_1 + m_2) a + \frac{mk^2 a}{2k^2}$ $a = \frac{m_2 - \mu m_1}{m_1 + m_2 + m/2} g$ $v = \sqrt{2as}; \quad t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$	<p> $m = 0,200 \text{ kg}$ $K = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ </p>
ESQUEMAS DE RAZONAMIENTO	
Variable (valores)	Descripción
RF41 (0,1,2,3)	Plantear las ecuaciones dinámicas que corresponden a un sistema complejo (traslación + rotación). Para lo cual el alumno debe recurrir bien a la generalización de la 2ª ley de Newton, bien al sistema que incluye la ecuación fundamental de la dinámica de traslación y la de la dinámica de rotación. En cualquier caso se ha de tomar en consideración la existencia de fuerzas de rozamiento opuestas al movimiento.
RF42 (0,1)	Manejar la relación entre fuerza de rozamiento y coeficiente de rozamiento.
RF43 (0,1,2)	Manejar la relación entre aceleración lineal y aceleración tangencial y el concepto de radio de giro. Ello supone incorporar convenientemente ambas al proceso de resolución. (Nótese que el dato del radio geométrico no es explícito.)
RF44 (0,1)	Manejar las ecuaciones cinemáticas correspondientes a un movimiento uniformemente acelerado.

TABLA 5.5.: Enunciado, resolución y esquemas de razonamiento correspondientes al problema nº 5.

PROBLEMA 5	
ENUNCIADO	
<p>Dos esferitas cada una de 100 mg de masa están suspendidas de un mismo punto mediante hilos de seda de 30,0 cm de longitud. Cuando ambas esferas se cargan con cargas iguales se repelen quedando separadas 1,80 cm. Calcúlese: a) la fuerza de repulsión; b) la carga de cada bola.</p>	
ESQUEMA DE RESOLUCION	
<p>a) $\frac{d/2}{h} = \frac{F_e}{p}$</p> $F_e = \frac{mgd}{2h} = \frac{mgd}{2\sqrt{l^2 - d^2/4}}$ <p>b) $F_e = \frac{k_0q^2}{d^2}$</p> $q = \sqrt{\frac{d^2 F_e}{k}}$	
ESQUEMAS DE RAZONAMIENTO	
Variable	Descripción
(valores)	
RF51 (0,1)	Analizar cualitativamente la relación vectorial entre las fuerzas actuantes. Para lo cual el alumno debe efectuar una representación gráfica correcta.
RF52 (0,1)	Establecer una relación de semejanza entre el triángulo de longitudes y el de fuerzas.
RF53 (0,1)	Manejar la ley de Coulomb de la electrostática. Lo que supone incorporarla correctamente a la resolución del problema.

TABLA 5.6.: Enunciado, resolución y esquemas de razonamiento correspondientes al problema nº 6.

PROBLEMA 6	
ENUNCIADO	
<p>Un hilo metálico indefinido está cargado positivamente con una densidad de carga de $+2,0 \cdot 10^{-2}$ C/m y situado a $5,0 \cdot 10^{-1}$ m de distancia del centro O de una esfera metálica de $2,0 \cdot 10^{-2}$ m de diámetro cargada a su vez con una densidad de carga de $\pi/3 \cdot 10^{-1}$ C/m². Calcúlese: a) El vector intensidad de campo en un punto P equidistante del centro de la esfera y del hilo, que está situado en un plano π que es perpendicular al hilo y que contiene al punto O. b) La magnitud de la fuerza que se ejercería sobre una carga $q = 3,0 \cdot 10^{-6}$ C supuesta situada en un punto M del plano π anteriormente referido tal que dista $4,0 \cdot 10^{-1}$ m del hilo y $3,0 \cdot 10^{-1}$ m del centro de la esfera ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ U.I.).</p>	
ESQUEMA DE RESOLUCION	
<p>a) $\vec{E}_{ESF} = -\frac{\sigma R^2}{\epsilon_0 r^2} \vec{i}$</p> <p>$\vec{E}_{HIL} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \vec{i}$</p> <p>$\vec{E} = \vec{E}_{ESF} + \vec{E}_{HIL} = \left(\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} - \frac{\sigma R^2}{\epsilon_0 r^2} \right) \vec{i}$</p> <p>b) $\vec{F} = q \vec{E}$</p> <p>$\vec{E} = \sqrt{E_{ESF}^2 + E_{HIL}^2}$</p>	
ESQUEMA DE RAZONAMIENTO	
Variable (valores)	Descripción
RF61 (0,1)	Deducir (o recordar) la expresión del campo eléctrico debido a la esfera metálica. Lo que supone conocer que la carga se distribuye homogéneamente por su superficie.
RF62 (0,1)	Deducir (o recordar) la expresión del campo eléctrico debido a una línea de carga.
RF63 (0,1)	Aplicar el principio de superposición de campos. El alumno ha de fijar correctamente los sentidos de ambos vectores campo en el punto P y componer vectorialmente en una sola dimensión.
RF64 (0,1)	Manejar la relación entre fuerza electrostática, campo y carga.
RF65 (0,1)	Reconocer la relación entre los lados del triángulo formado y manejar la composición de vectores perpendiculares.

TABLA 5.7.: Definición de “variables moleculares” por agrupación de esquemas de razonamiento correspondientes a un mismo problema.

	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN
PF 1	$\frac{100}{4} \left(\sum_{j=1}^4 \text{RF1J} \right)$	Puntuación centesimal correspondiente al primer problema de Física.
PF 2	$\frac{100}{4} \left(\sum_{j=1}^4 \text{RF2J} \right)$	Puntuación centesimal correspondiente al segundo problema de Física.
PF 3	$\frac{100}{5} \left(\sum_{j=1}^3 \text{RF3J} \right)$	Puntuación centesimal correspondiente al tercer problema de Física.
PF 4	$\frac{100}{7} \left(\sum_{j=1}^4 \text{RF4J} \right)$	Puntuación centesimal correspondiente al cuarto problema de Física.
PF 5	$\frac{100}{3} \left(\sum_{j=1}^3 \text{RF5J} \right)$	Puntuación centesimal correspondiente al quinto problema de Física.
PF 6	$\frac{100}{5} \left(\sum_{j=1}^5 \text{RF6J} \right)$	Puntuación centesimal correspondiente al sexto problema de Física.

(*) La extensión de los diferentes sumatorios se corresponde con el número de esquemas agrupados. El coeficiente que multiplica al sumatorio normaliza las puntuaciones a cien, por lo cual su denominador constituye la puntuación máxima para cada uno de los problemas obtenida como suma de las de los esquemas correspondientes (ver tablas 5.1 - 5.6).

En lo que respecta a la dimensión del estilo cognitivo considerada, se ha definido como variable DIC la puntuación bruta obtenida por los alumnos en el test de figuras enmascaradas (GEFT). Dicho test constituye una prueba de carácter colectivo que consta de 18 ítems formados por otras tantas figuras complejas en cada una de las cuales aparece enmascarada una figura simple que es preciso identificar.

Diferentes investigaciones han establecido la existencia de una relación significativa entre la DIC y los intereses educativo-profes-

TABLA 5.8.: Definición de “variables moleculares” por agrupación de esquemas de razonamiento para problemas que suponen el empleo de procedimientos análogos.

VARIABLE	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN
PF 1E	$\frac{100}{3} (RF11 + RF14 + RF51)$	Manejo gráfico de la composición/descomposición vectoriales.
PF 2E	$\frac{100}{3} (RF12 + RF14 + RF65)$	Manejo analítico de la composición/descomposición vectoriales.
PF 3E	$\frac{100}{3} (RF21 + RF43 + RF65)$	Operar en condiciones en las que una información relevante está contenida en el enunciado de forma indirecta o no explícita.
PF 43	$\frac{100}{3} (RF14 + RF22 + RF42)$	Manejo de la relación entre fuerza de rozamiento y coeficiente de rozamiento.
PF 5E	$\frac{100}{2} (RF21 + RF24)$	Manejo conceptual y operacional de las relaciones entre las magnitudes fuerza, potencia y velocidad.

(*) Ver nota al pie de la tabla 5.7.

TABLA 5.9.: Definición de “variables molares” por agrupación de problemas generales por un lado y estándar por otro.

VARIABLE	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN
PFG	$(PF1 + PF2 + PF6) / 3$	Puntuación centesimal media de los problemas de Física clasificados como generales.
PFS	$(PF3 + PF4 + PF5) / 3$	Puntuación centesimal media de los problemas de Física clasificados como estándar.

sionales de los estudiantes (Witkin et al, 1977b; López Rupérez et al, 1987). Así los sujetos independientes de campo presentan una cierta tendencia a elegir opciones curriculares científicas en tanto que los dependientes prefieren las humanísticas. De hecho, en el presente estudio un análisis preliminar de la muestra con respecto a la variable DIC ha puesto de manifiesto una distribución asimétrica con la moda ($DIC = 17$) desplazada hacia los valores altos. Por tal motivo, y con la intención de ser empleada en algunas de las etapas del análisis de datos, hemos definido la variable dicotómica IC que permite fijar la atención en los extremos del continuo dependientes-independientes de campo. De acuerdo con los resultados obtenidos en el referido análisis de frecuencias, se han seleccionado los tercios inferior y superior de la distribución, eliminándose —sólo a efectos de exploraciones que impliquen a la variable IC— el tercio intermedio. Mediante este procedimiento se ha asignado a dicha variable IC el valor 0 para valores de la variable DIC menores o iguales a 14, lo que ha supuesto un número de sujetos aproximadamente igual a un tercio de la muestra. Análogamente se ha asignado a IC el valor 1 para valores de DIC mayores o iguales que 17 lo que corresponde, de forma aproximada, al tercio superior de la distribución.

2.4. TRATAMIENTO

El propósito central del tratamiento fue promover, de un modo sistemático, en los alumnos de los grupos experimentales, una organización del conocimiento jerárquica y, en cierta medida, funcional como etapa preliminar a la situación de resolución de problemas, en este caso, de examen.

Como herramienta para la organización del conocimiento recurrimos a una modalidad de mapas conceptuales que pone el acento en la estructura lógica de la disciplina (López Rupérez, 1987). Así, adoptamos un principio de jerarquización conceptual que sitúa en la parte superior del mapa los conceptos primitivos, de acuerdo con el enfoque didáctico elegido. Dicho principio —que difiere del de inclusividad conceptual, característico de los mapas tipo Novak— puede dar lugar, a partir del segundo y, en ocasiones, del primer nivel jerárquico, a representaciones parciales análogas si

se toman como primitivos conceptos muy generales en el sentido de muy inclusivos. La ventaja de éste tipo de mapas estriba, esencialmente, en facilitar el proceso de construcción conceptual por parte del alumno, desde la perspectiva de la lógica de la disciplina y, en particular, en aquellas situaciones, tan frecuentes en un curso de Física, en la que se han de introducir los llamados conceptos por definición. La funcionalidad del mapa se intentó potenciar incluyendo en los nodos no sólo los conceptos sino también su expresión operacional. Con el fin de evitar un uso abusivo del operacionalismo se pretendió inducir al alumno a la reflexión sobre la naturaleza epistemológica de las relaciones entre los diferentes conceptos incorporados al mapa (metaconocimiento). Estos ingredientes teóricos se tradujeron en las normas de elaboración del mapa que se resumen en el cuadro 5.1.

El tratamiento se extendió a lo largo del semestre sobre el que se desarrolló la investigación y comprendió las siguientes acciones:

CUADRO 5.1.: Conjunto de normas dictadas a los alumnos para la elaboración de mapas conceptuales jerárquicos. La aplicación de tales normas fue ilustrada sobre un ejemplo práctico.

- a) *Elabora una lista de conceptos relativos al tema en cuestión tan detallada como te sea posible.*
- b) *Haz otra lista con las leyes, los teoremas y las consecuencias que aparecieron o se emplearon en el desarrollo del tema.*
- c) *Intenta integrar todo lo anterior en un mapa:*
 - i) *Reflejando una cierta jerarquía lógica entre conceptos más generales y conceptos derivados de los anteriores por definición.*
 - ii) *Diferenciando las distintas relaciones entre los conceptos según estén vinculados entre sí por definición (utilizando líneas continuas, por ejemplo) o lo estén por deducción, por descubrimiento o por experimentación (utilizando líneas de trazos, por ejemplo).*
 - iii) *Distinguiendo entre los nudos de la red propiamente dichos (conceptos) y la concreción de las relaciones entre ellos, sean de carácter deductivo (teoremas o consecuencias) sean de carácter empírico (leyes).*
- d) *Con el propósito de facilitar la funcionalidad del esquema escribe en todos los casos, junto con el nombre del concepto o de la relación, su símbolo y su expresión matemática, si la hubiere.*

- a) Una exposición a los alumnos, con fines proactivos, sobre la importancia de la organización del conocimiento como etapa preliminar en la resolución de problemas.
- b) Una presentación de los mapas conceptuales como instrumento para la organización jerárquica, y en cierta medida, funcional del conocimiento. Descripción detallada de las normas de elaboración y posterior aplicación colectiva, orientada por el profesor, de dichas normas a la construcción de un mapa concreto, que en el presente caso, fue el correspondiente al tema Dinámica de la partícula (ver figura 5.1).
- c) Al finalizar cada tema y antes de la prueba correspondiente, elaboración obligatoria por parte de cada alumno del mapa conceptual relativo al tema en cuestión y presentación posterior al profesor para su valoración.
- d) Estímulo continuado por parte del profesor a los alumnos resaltando la importancia y la utilidad de este tipo de herramientas de aprendizaje.

La figura 5.2 muestra, a modo de ejemplo, el mapa conceptual correspondiente al tema Trabajo y energía elaborado por alumnos sometidos al tratamiento.

2.5. DISEÑO EXPERIMENTAL Y TECNICAS DE ANALISIS

La exploración sobre los datos disponibles se efectuó siguiendo una estrategia de búsqueda que va de lo general a lo particular, lo que supuso tomar en consideración de forma sucesiva, variables "molares", variables "moleculares" y variables "atómicas" relativas, todas ellas, a la efectividad en la resolución de problemas.

El diseño experimental consistió, en líneas generales, en investigar la relación entre la variable tratamiento como variable independiente y las diferentes variables de efectividad en resolución de problemas como variables dependientes, controlando convenientemente la dependencia/independencia de campo; y, análogamente, en investigar la relación entre dependencia/independencia de campo y efectividad en la resolución de problemas para los diferentes tratamientos.

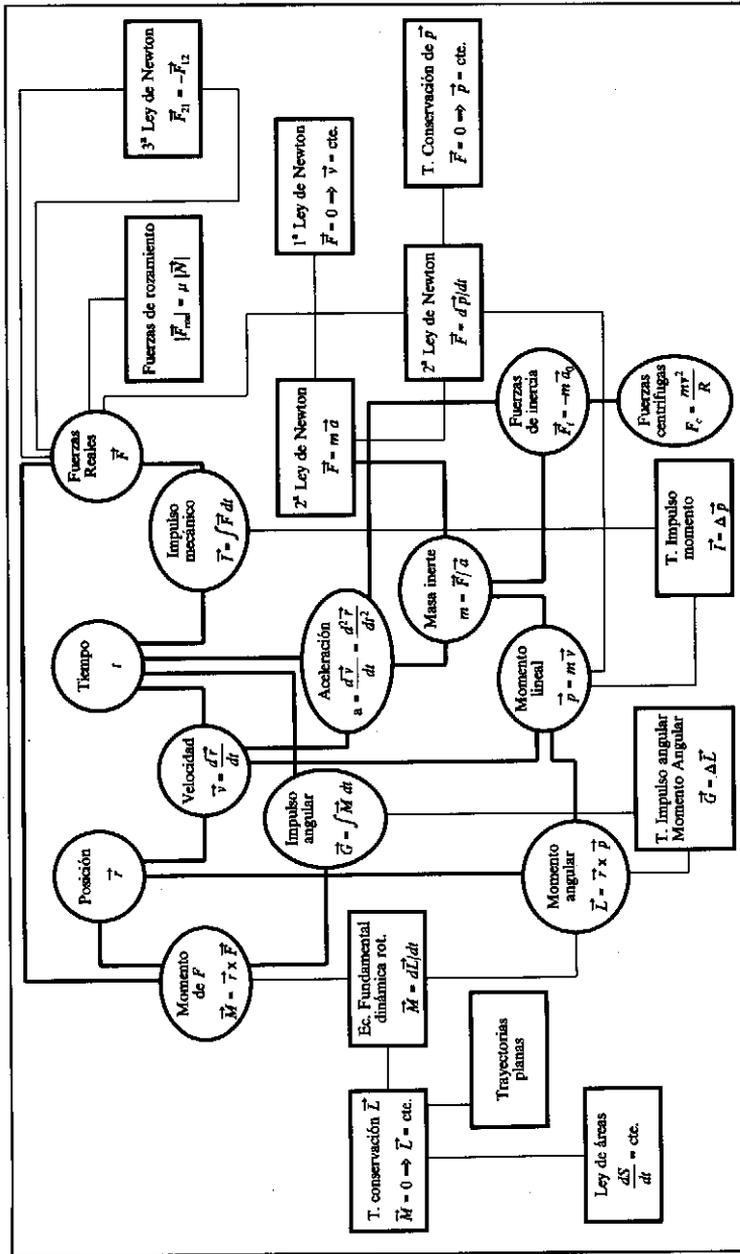


FIGURA 5.1.: Mapa conceptual correspondiente al tema Dinámica de la partícula. Los conceptos aparecen rodeados de un círculo y las leyes, los teoremas o las consecuencias que suponen relaciones entre ellos, están situados en el interior del rectángulo. Las líneas gruesas representan relaciones por definición, en tanto que las finas suponen (o han supuesto en la historia de la Física) deducción, descubrimiento o experimentación.

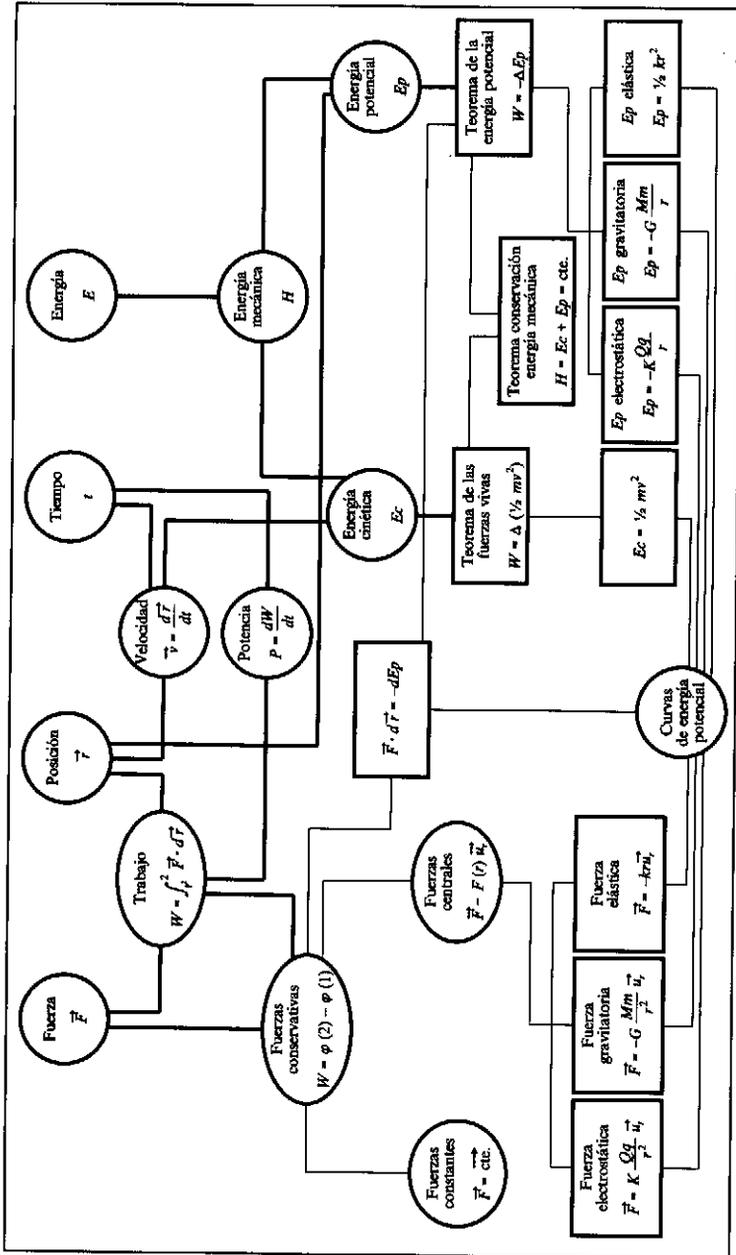


FIGURA 5.2.: Mapa conceptual correspondiente al tema Trabajo y Energía. Se trata del mapa del alumno M.R. enriquecido con algunos elementos del mapa del alumno M.M., de análoga estructura. Ambos alumnos forman parte de la muestra descrita en el Estudio I.

Dicho esquema general de análisis fue aplicado utilizando, según los casos, dos técnicas diferentes a saber, el análisis de covarianza y la tabulación cruzada (CROSS TABULATION) o de contingencia (Blalock, 1966), disponibles ambas en el paquete de programas SPSS (Nie et al, 1975); dicho paquete fue manejado desde un ordenador Digital Vax 11/780 del Centro de Cálculo de la Universidad Autónoma de Madrid.

El análisis de covarianza, efectuado mediante el subprograma ANOVA (WITH), se aplicó a aquellas situaciones en las que debido al carácter molecular o molar de las variables de efectividad en la resolución de problemas, éstas podían ser consideradas como aproximadamente continuas. Sin embargo, cuando se trató de realizar el estudio por esquemas de razonamiento –para los cuales la situación era en la mayor parte de los casos dicotómica (disponible (0)/no disponible (1))– hubo que recurrir al subprograma CROS-STABS. En tales condiciones se eligió como test de significación el test del X^2 que es adecuado al tipo de variables consideradas, proporcionando una indicación fiable de si las variables en cuestión son estadísticamente independientes o están relacionadas significativamente una con respecto a la otra.

3. Resultados y discusión

3.1. ANOVAS (tratamiento x efectividad) CONTROLANDO LA DIC

3.1.1. Por grupos de problemas generales/estándar

Se efectuaron sendos análisis de covarianza considerando, en este caso, como dependientes las variables de rendimiento de tipo “molar”, que agrupan todos los esquemas de razonamiento correspondientes a problemas generales por un lado y a problemas estándar por otro. Los resultados, en términos de significación estadística, aparecen recogidos en las tablas 5.10 y 5.11 y muestran que el efecto del tratamiento sobre la efectividad en la resolución de problemas de Física no es significativo ni para los problemas generales ni para los problemas estándar. Se advierte, sin embargo,

TABLA 5.10.: Resultados del análisis de covarianza (ANOVA WITH) entre la variable de efectividad en la resolución de problemas generales (no estándar) (RFG) y el tratamiento (TR) controlando la dimensión dependencia/independencia de campo (DIC).

Forma de variación	Suma de cuadrados	GL	Medio de cuadrados	F	Significación de F
Covariable (DIC)	5.839,100	1	5.839,100	12,078	0,001
Efectos principales (TR)	1.184,302	1	1.183.302	3,450	0,121
Explicado	7.023,402	2	3.511,701	7,264	0,001
Residual	39.643,832	82	483,461		
Total	46.667,234	84	555,562		

GL = Grados de libertad.

una influencia apreciable de la DIC con un nivel de significación de $p = 0,001$ para los problemas generales y considerablemente inferior para los standar con $p = 0,026$, aunque superior, en cualquier caso, al valor umbral $p = 0,05$. De acuerdo con tales resultados es posible concluir que la DIC influye significativamente en la resolución de los problemas de Física considerados aunque en diferente grado según el problema sea general o estándar. Tales resultados confirman la hipótesis n° 4 y son consistentes con las características generales del constructo DIC. Los problemas

TABLA 5.11.: Resultados del análisis de covarianza (ANOVA WITH) entre la variable de efectividad en la resolución de problemas estándar (PFS) y el tratamiento (TR) controlando la dimensión dependencia/independencia de campo (DIC).

Forma de variación	Suma de cuadrados	GL	Medio de cuadrados	F	Significación de F
Covariable (DIC)	3.286,002	1	3.286,002	5,106	0,026
Efectos principales (TR)	137,492	1	137,492	0,214	0,645
Explicado	3.423,492	2	1.711,746	2,660	0,076
Residual	52.768,105	82	643,513		
Total	56.191,598	84	668,948		

generales son, por su propia definición, más abiertos y en ellos las tareas de reestructuración/transformación y, sobre todo, la selección efectiva de estrategias de resolución desempeñan un papel decisivo.

Por contra, en los problemas estándar los efectos de dicha variable pueden estar en parte controlados si el alumno recuerda el algoritmo. No obstante la distinción entre ambos tipos de problemas, clara desde el punto de vista de la instrucción, no lo es tanto desde el punto de vista del alumno o, más exactamente, de su actuación en una situación de examen. Ello explicaría el hecho de que aun cuando las diferencias en los valores de p para ambos tipos de problemas sean importantes, el efecto de la DIC sea, en cualquier caso, significativo (ver tablas 5.10 y 5.11).

3.1.2. Por problemas individuales

Los resultados de los respectivos análisis de covarianza correspondientes a las variables "moleculares" PFJ ($J = 1 \dots 6$), que se refieren a los seis problemas de Física descritos, se muestran en la tabla 5.12. La presencia de asteriscos, que destacan la existencia de un nivel de significación con $p \leq 0,05$, pone de manifiesto que en cuatro de los seis problemas considerados la influencia de la DIC fue estadísticamente significativa mientras que sólo en uno de

TABLA 5.12.: Resultados de los análisis de covarianza efectuados por problemas individualmente considerados.

Variable	Tipo de problema	Efecto DIC	Efecto tratamiento
PF 1	G	0,023*	0,356
PF 2	G	0,079	0,634
PF 3	S	0,054*	0,009*
PF 4	S	0,536	0,555
PF 5	S	0,028*	0,525
PF 6	G	0,001*	0,056

G = general; S = estándar; * = $p \leq 0,05$.

ellos lo fue la influencia del tratamiento. Tales resultados indican de nuevo, aunque sobre otra base de agrupación de variables, la importancia de la DIC frente a la escasa influencia del tratamiento. Las características del problema 3 y de su procedimiento de resolución (en el cual los esquemas de razonamiento coinciden prácticamente con automatismos aplicables al hilo de un algoritmo bien definido, como lo es el derivado del teorema de conservación de la energía mecánica) podría explicar el por qué una organización del conocimiento declarativo puede tener alguna repercusión en este tipo de problemas.

La falta de relación entre la DIC y las variables PF2 (con $p = 0,079$) y especialmente PF4 (con $p = 0,536$) puede ser explicada sobre la base de las características de los respectivos problemas así como de la instrucción previa correspondiente. El problema 2 es un problema general cuya resolución supone una comprensión cabal de los conceptos en juego. Aun cuando la instrucción correspondiente atendió a las relaciones entre las magnitudes potencia, fuerza y velocidad, no lo hizo en una pluralidad de contextos prácticos que asegurara esa comprensión fina, factor que puede perturbar la relación entre DIC y rendimiento al afectar tanto a los sujetos DC como a los IC, explicándose así esa disminución en el valor de p que lo sitúa por debajo del umbral de significación estadística igual a 0,05.

Más interesante resulta, en nuestra opinión, el análisis del problema 4. Se trata de un problema estándar en el que se requiere la aplicación del algoritmo de resolución de problemas de Dinámica a un sistema en el que parte rota y parte se traslada. La instrucción de partida se caracterizó por la aplicación de dicho algoritmo en contextos prácticos muy variados y numerosos, cubriendo una amplia gama de situaciones características de la dinámica de la traslación primero y de la rotación después. Tal circunstancia proporcionó suficientes ocasiones a los alumnos para familiarizarse con las estrategias de resolución que se integran en el referido procedimiento algorítmico. Los resultados anteriormente descritos indican que cuando se controla tal aspecto organizativo del proceso de resolución no existen diferencias significativas entre el comportamiento de los sujetos IC y los DC. Dicha interpretación no sólo es coherente con los resultados anteriormente discutidos, a propósito de las diferencias observadas entre problemas

generales y problemas estándar, sino también con otras investigaciones sobre la influencia de la dependencia/independencia de campo en la resolución de problemas, las cuales indican que cuando se controlan variables que tienen que ver con el contexto de la tarea se eliminan las diferencias en la actuación de los sujetos DC frente a los IC (Linn et al, 1978; Levine et al, 1977).

3.1.3. Por grupos de esquemas de razonamiento análogos

La agrupación por esquemas de razonamiento que posean una cierta analogía procedimental presenta la limitación de no poder definir variables completamente independientes. Ello se pone de manifiesto, por ejemplo, en la definición de las variables "moleculares" correspondientes (tabla 5.13) que muestra como, en ocasiones, un mismo esquema está presente en agrupaciones diferentes. Por otra parte, los esquemas como unidades de razonamiento no son atómicas en un sentido estricto en la medida que no corresponden a piezas elementales de razonamiento sino más bien estructuras unitarias y sólo relativamente independientes. La presente agrupación se ha efectuado, entonces, considerando esquemas que contuvieran elementos comunes y cruciales en el proceso de resolución.

La tabla 5.13 muestra los resultados obtenidos. En ellos se pone de nuevo de manifiesto la no significación estadística del efecto del tratamiento para ninguna de las variables "moleculares" consideradas. En relación con el efecto de la DIC cabe efectuar una clasificación de dichas variables en tres categorías: las que presentan una clara significación estadística (PF1E y PF2E), las que se aproximan al umbral $p = 0,05$ (PF3E y PF5E) y las que se alejan claramente de dicho límite estadístico (PF4E).

Respecto del primer grupo interesa destacar que se trata de variables relacionadas con el manejo ya sea gráfico, ya sea analítico —el cual en los casos considerados contiene explícita, o implícitamente al gráfico entre sus elementos— de las operaciones de composición o descomposición de vectores. Una de las características de los sujetos IC frente a los DC es su mayor aptitud para dominar los aspectos figurativos de las situaciones (Huteau, 1980). Dicha aptitud, que les permite conseguir una representación del espa-

TABLA 5.13.: Resultados de los análisis de covarianza efectuados por esquemas de razonamiento análogos agrupados.

Variable (problemas o esquemas)	Características	Efecto DIC	Efecto tratamiento (Controlando DIC)
PF 1E (RF11*, RF14, RF51*)	Manejo gráfico de la composición/descomposición vectoriales	0,003*	0,355
PF 2E (RF12*, RF23, RF65*)	Manejo analítico de la composición/descomposición vectoriales	0,006*	0,090
PF 3E (RF21, RF43, RF65*)	Operar en condiciones en las que una información relevante aparece enmascarada en el enunciado.	0,097	0,121
PF 4E (RF14, RF22*, RF42)	Manejo de la relación entre fuerza de rozamiento y coeficiente de rozamiento.	0,183	0,243
PF 5E (RF21, RF24)	Manejo conceptual y operacional de la relación entre las magnitudes fuerza, potencia y velocidad.	0,089	0,903

* $p \leq 0,05$.

cio más articulada, no es ajena, en nuestra opinión, a las tareas de análisis y de síntesis de elementos figurativos –como son los vectores fuerza cuando se manejan sobre un esquema gráfico– en un contexto relativamente complejo y explicaría la influencia de la DIC sobre este tipo de esquemas de razonamiento, observada con relativa claridad en la presente investigación.

En relación con el segundo grupo se advierte una relación débilmente significativa. Particularmente en el caso de la variable PF3E, cabría esperar una influencia de la DIC más pronunciada, debido a la presencia de situaciones en las que parte de la información relevante se halla presente en el enunciado de forma implícita, indirecta o enmascarada. Aunque a tenor de los resultados parece atisbarse dicha tendencia, interferencias relativas a una insuficiente asimilación conceptual, independiente de la DIC podrían

haber influido en los resultados. Finalmente, la variable PF4E no aparece relacionada con la DIC sin que se pueda avanzar, por el momento, ninguna explicación razonable.

Los resultados descritos tanto en este apartado como en el anterior parecen confirmar la *hipótesis nº 2* que postulaba una interacción entre la DIC y las características del problema. Efectivamente, la DIC puede influir en la resolución de ciertos problemas de Física y no influir en la de otros, o incluso dentro de un mismo problema pueden afectar, de forma significativa, sólo a ciertas etapas del proceso de resolución. Por esta razón no es de extrañar la presencia en la literatura de resultados positivos (Ronning et al, 1984) junto a algunos negativos (Garret, 1986). Más que considerar la influencia de la DIC en la resolución de problemas en general, se trataría más bien, como sugiere nuestra investigación, de hacer un esfuerzo de análisis que permita aislar componentes del proceso de resolución relativamente independientes y que puedan ser posteriormente correlacionados con la DIC de un modo diferenciado.

3.2. CROSSTABS (esquemas de razonamiento x IC)

El estudio de la influencia de la DIC en la efectividad en la resolución de problemas definida, ésta última, por el comportamiento de los sujetos ante los esquemas de razonamiento aisladamente considerados, ha supuesto cambiar de técnica estadística y pasar a otra que permita analizar relaciones entre variables discretas considerando, en tal caso, definida la DIC mediante la variable discreta IC (ver pág. 108). Los resultados de este análisis referido a variables de efectividad de tipo "atómico" o elemental se muestran en la tabla 5.14 en cuya cabecera aparecen no sólo los resultados del test de significación estadística del "chi-cuadrado", sino también otras medidas de asociación como la ϕ empleada cuando la tabla es 2×2 , o la V de Cramer que sustituye a la anterior cuando la tabla es rectangular; ambos estadísticos, que dan idea de la fuerza o intensidad de la relación entre las variables consideradas, toman valores comprendidos entre 0 y 1.

Un análisis global de la tabla indica que de los 23 esquemas de razonamiento definidos para los problemas de Física (RFIJ) 9

TABLA 5.14.: Resultados de los CROSSTABS efectuados entre esquemas de razonamiento en problemas de Física y dependencia/independencia de campo medida por la variable IC. El efecto del tratamiento ha sido, en este caso, ignorado.

Variable	Significación test chi-cuadrado	Valor de ϕ	Valor de la V de Cramer
RF 11	0,0017*	0,40624	
RF 12	0,0239*	0,29151	
RF 13	0,0926	0,21220	
RF 14	0,8848	0,01871	
RF 21	0,1108	0,20588	
RF 22	0,0204*	0,29939	
RF 23	0,3845	0,11227	
RF 24	0,5767	0,07207	
RF 31	0,5596		0,13684
RF 32	0,7980	0,03251	
RF 33	0,5369		0,14164
RF 41	0,9066		0,09462
RF 42	0,6577	0,05672	
RF 43	0,6241		0,12333
RF 44	0,9009	0,01581	
RF 51	0,0432*	0,25681	
RF 52	0,5853	0,06929	
RF 53	0,4648	0,09233	
RF 61	0,0065*	0,34540	
RF 62	0,0045*	0,36121	
RF 63	0,0625*	0,23430	
RF 64	0,0009*	0,42322	
RF 65	0,0065*	0,34542	

* $p \leq 0,05$

presentan significación estadística con $p \leq 0,05$ (lo que supone aproximadamente el 40% de los ítems aislados) y muestra de nuevo con claridad la pertinencia de la hipótesis nº 2. Así, por ejemplo, un estudio efectuado con problemas cuyos esquemas de razonamiento básicos fueran como los del número 2 o los del número 4 de nuestra investigación, daría como resultado una relación no significativa entre la DIC y la resolución de problemas.

La descripción de los resultados de la tabla permite encontrar el origen de los comportamientos descritos en el apartado 3.1.3 (ver tabla 5.13). Así, la influencia de la dimensión dependencia/independencia de campo en la variable molecular PF1E —definida como “Manejo gráfico de la composición/descomposición de vectores”— es consistente con la significación estadística de la relación entre la variable IC y, al menos, dos de los esquemas de razonamiento componentes (RF11 y RF51); a pesar de que, en el presente caso, no se haya controlado la variable tratamiento, los resultados son coherentes.

Como hemos señalado con anterioridad, las diferencias que presentan los sujetos DC frente a los IC, en lo que respecta a la representación del espacio y al manejo de los aspectos figurativos de un problema, se reflejan con toda claridad en nuestros resultados sobre problemas de Física. De hecho la mayor parte de los resultados positivos que aparecen destacados con un asterisco en la tabla 5.14 corresponden a esquemas de razonamiento para los cuales los aspectos anteriormente referidos son relevantes. Constituye ésta, por tanto, una de las conclusiones más claras de nuestra investigación. No obstante, el análisis de los esquemas de razonamiento correspondientes al primer problema por su carácter ejemplar puede arrojar alguna luz adicional.

Se trata de un problema que consta de cuatro esquemas de razonamiento de complejidad creciente, en los cuales los del nivel de generalidad superior incluyen a los correspondientes del nivel inferior. Así, el primero supone un manejo conceptual y gráfico de un esquema de fuerzas y de su descomposición vectorial, el segundo supone, además, el manejo analítico en términos de relaciones trigonométricas, el tercero complica la situación al suponer el manejo conceptual y gráfico de la situación en presencia de fuerzas de rozamiento y el cuarto supone el tratamiento completo incluyendo el desarrollo algebraico y trigonométrico.

Un análisis de los valores de ϕ respectivos muestra que la fuerza de la relación entre las variables IC y RF disminuye en el sentido en el que aumenta la complejidad del esquema de razonamiento (ver tabla 5.14) siendo sólo significativa para el primer escalón de complejidad (esquemas RF11, RF12), lo que indica que la complejidad conceptual perturba la relación entre la DIC y los aspectos figurativos del problema de mecánica considerado. Ello significa que dicho factor podría afectar aproximadamente por igual a los sujetos DC que a los IC. Este tipo de factores, tan presentes en problemas relativos a dominios de contenidos ricos semánticamente, podrían enmascarar, como sucede en el ejemplo considerado, la influencia de la DIC en la efectividad en la resolución de problemas, lo que viene de nuevo a demostrar la necesidad de un enfoque analítico en este tipo de investigaciones.

Destaca, finalmente, en la tabla 5.14 el problema número 6 cuyos esquemas de razonamiento componentes presentan todos una relación estadísticamente significativa con la variable IC. Tal resultado es coherente con las características de la DIC como constructo, pues además del componente fuertemente geométrico de algunos de los esquemas aislados (véase por ejemplo RF63 o RF65), la noción de campo electrostático supone, de alguna manera, dotar de propiedades físicas a un espacio geométrico de modo que, incluso a un nivel puramente conceptual y en una primera etapa, alguna representación mental del espacio resulta si no imprescindible sí al menos conveniente para un manejo efectivo y consistente de los conceptos en juego.

3.3. CROSSTABS (esquemas de razonamiento x tratamiento)

Con el propósito de investigar la interacción aptitud-tratamiento a ese nivel fino característico de los esquemas de razonamiento, hemos efectuado para cada variable "atómica" RFIJ sendos CROSSTAB, seleccionando en un caso los sujetos dependientes de campo (IC = 0) y en otro los independientes de campo (IC = 1). En la tabla 5.15 hemos recogido únicamente los resultados que son estadísticamente significativos para algunos de los valores de dicha variable IC. En todos los casos hemos comprobado cuidadosamente que se trataba de un efecto directo y no inverso,

TABLA 5.15.: Resultados de los CROSSTABS entre esquemas de razonamiento correspondientes a problemas de Física y tratamiento, controlando la dependencia/independencia de campo medida por la variable IC. Sólo han sido considerados los esquemas con alguna significación estadística ($p \leq 0,05$), al menos para uno de los dos valores de IC.

Variables	Significación del tratamiento	F de Green	IC
RF 33	0,0400*	0,424	0
	0,4933	0,232	1
RF 43	0,0168*	0,383	0
	0,6692	0,166	1
RF 53	0,0441*	0,400	0
	0,4029	0,152	1

* $p \leq 0,05$

es decir, que a la existencia de tratamiento le correspondía mayor índice de aciertos y no al contrario. Del análisis de dicha tabla se infiere nuevamente el efecto casi nulo del tratamiento. No obstante, se advierte que dicho efecto es más notorio en los sujetos DC y auténticamente nulo en los IC. Este débil efecto de interacción aptitud-tratamiento (se presenta sólo en tres esquemas de razonamiento de los veintitrés considerados) es coherente con las características de la DIC y apuntaría a una ligera influencia de la organización del conocimiento conceptual, promovida mediante los mapas tipo Novak, en la efectividad en la resolución de problemas de Física para los sujetos dependientes de campo. Tales resultados parecen, por tanto, insinuar la confirmación de la *hipótesis nº 3*, aunque de un modo ciertamente restringido.

3.4. DISCUSION GLOBAL DEL EFECTO DEL TRATAMIENTO.

Del análisis global de los anteriores resultados se desprende que la *hipótesis nº 1*, que ha constituido de hecho, el eje central de toda la investigación, no ha podido ser confirmada de un modo claro. El tratamiento ha resultado tener una influencia significativa

sobre la efectividad en la resolución de problemas de Física únicamente para una fracción muy pequeña del total de los esquemas de razonamiento considerados y sólo cuando la variable dependencia/ independencia de campo ha sido controlada convenientemente.

Un cierto número de trabajos han puesto de manifiesto la utilidad de los mapas conceptuales como instrumento de enseñanza (Brumby, 1983; Moreira et al, 1985; Stewart et al, 1979), otros han sugerido su uso como medio para elucidar la estructura conceptual del sujeto (Stuart, 1985; Edwards et al, 1983) pero muy pocos (Bascones et al, 1985; Novak et al, 1983) han enfrentado dicha herramienta con ese "banco de pruebas" para cualquier teoría del aprendizaje científico que constituye la resolución de problemas en dominios de contenido semánticamente ricos y considerablemente formalizados.

La teoría de Ausubel es fundamentalmente una teoría del aprendizaje de conceptos (Novak, 1982; Ausubel et al, 1976), razón por la cual ha recibido importantes críticas (Stewart et al, 1982) procedentes del paradigma del procesamiento de la información que sostiene una relativamente clara diferencia entre conocimiento declarativo (proposicional o conceptual) y conocimiento procedimental. En tales críticas subyace la idea, apoyada entre otros por resultados de investigaciones en resolución de problemas (Attkin, 1978), de considerar la cuestión del conocimiento previo y de la organización de los conceptos en la estructura cognitiva del sujeto como condición necesaria, pero no suficiente, para explicar la eficacia del aprendizaje científico, entendido en un sentido amplio. Stewart et al, (1982) argumentan a este respecto de la siguiente manera:

"Una falta de éxito en el aprendizaje o en la resolución de problemas podría presentarse en individuos con estructuras cognitivas bien organizadas los cuales como consecuencia de la deficiencia o incluso de la ausencia de rutinas para la manipulación de la información, verían perturbado el proceso de resolución" (p. 322).

Dichas críticas pueden ser extendidas no solo a los mapas tipo Novak sino también a la modalidad de mapas conceptuales

empleada en la presente investigación. Así, el tratamiento ha operado exclusivamente sobre la organización del conocimiento conceptual, considerado en sentido estricto, de modo que, por lo demás, la instrucción —con referencia explícita a procedimientos algorítmicos y a un sistema de heurísticos definido (López Rupérez, 1987)— fue completamente equivalente para los diferentes grupos de alumnos considerados. Tras esta manipulación experimental se hallaba “in mente” el problema insuficientemente abordado (Otero, 1986) del análisis de la interacción entre conocimiento conceptual y conocimiento procedimental. Nuestros resultados no permiten sostener la tesis de una transferencia clara de uno a otro ámbito, cuando menos en las condiciones en las que se efectuó la investigación, y es consistente con investigaciones anteriores desarrolladas en el marco de la psicología cognitiva, las cuales han puesto de manifiesto que ni el conocimiento declarativo ni el procedimental, aisladamente considerados, permiten a los estudiantes mejorar su habilidad para la resolución de problemas (Larkin, 1980a). En esta misma tónica puede situarse el consenso creciente, apoyado empíricamente, que sostiene la idea de que la enseñanza de la heurística de resolución de problemas resulta altamente eficaz cuando se superpone a un dominio específico de conocimiento conceptual (Mayer, 1985).

Por otra parte, y admitiendo, siquiera sea tentativamente, los principios teóricos y las conclusiones presentes en el trabajo de Eylon y Reif (1984) —según las cuales no basta tan sólo con organizar la información de forma jerárquica sino que es necesario, además, adaptarla al dominio de tareas sobre el cual el conocimiento va a ser utilizado—, la ausencia de resultados claramente positivos en nuestra investigación podría explicarse por el hecho de que la jerarquización del conocimiento que los mapas conceptuales imponen no cumple, en general, la condición de estar adaptada a la tarea, sino que se apoya en unos criterios de organización conceptual universales. Como puede advertirse, ambas críticas respecto de las limitaciones que presentan los mapas conceptuales para mejorar la efectividad en la resolución de problemas de Física, están relacionadas entre sí pues la escasa referencia en ellos al conocimiento procedimental no deja de ser una falta de adecuación a la naturaleza de las tareas que se plantean en la resolución del tipo de problemas considerado.

Sin embargo, algunas investigaciones precedentes (Novak et al, 1983; Bascones et al, 1985) han descrito una cierta influencia de los mapas conceptuales, como instrumento de enseñanza/aprendizaje englobado dentro de una orientación ausubeliana, sobre la resolución de problemas que ha sido, a continuación, interpretada por sus autores como un éxito de la teoría de Ausubel. Tiene sentido, por tanto, analizar en qué medida sus resultados y los nuestros son incompatibles.

En el trabajo de Novak et al (1983) –desarrollado sobre alumnos de Física elemental de Enseñanza Básica (grados 7º y 8º del sistema americano)– el tipo de problemas que se utilizan como test son cualitativos, fenomenológicos y esencialmente conceptuales. Se trata más bien de cuestiones cuya resolución requiere estrategias de tipo relacional pero de primer orden. Por contra, los problemas empleados en nuestra investigación se refieren a situaciones físicas relativamente complejas cuya resolución supone, además, análisis cuantitativos y el establecimiento de relaciones entre relaciones. La utilidad de los mapas conceptuales en orden a mejorar la efectividad de la resolución de problemas podría, entonces, depender drásticamente de la posición del problema en cuestión sobre el continuo *conceptual-procedimental*, de modo que aquélla sería máxima en el polo inferior y mínima en el polo superior del referido espectro. Una tal conexión entre el estatus epistemológico de la disciplina y la influencia de los mapas conceptuales sobre la resolución de problemas, discutida con anterioridad en el capítulo 2, podría explicar a un tiempo los resultados positivos obtenidos por Novak y col. y los negativos de nuestra investigación. Así, la confianza manifestada por Novak en sus mapas como herramienta para facilitar la resolución de problemas podría estar, al menos en parte, relacionada con el hecho de que un buen número de sus investigaciones se refieren a las Ciencias Biológicas. Tales disciplinas por su mayor carácter descriptivo plantean situaciones problemáticas en las cuales la influencia de la organización del conocimiento declarativo pudiera constituir un factor realmente decisivo. No obstante lo cual, incluso en el dominio de la enseñanza de la Biología, existen en la literatura antecedentes empíricos negativos sobre la eficacia del uso de mapas conceptuales en orden a promover un aprendizaje significativo (Lehman et al, 1985).

Una crítica adicional a dicho trabajo tiene que ver con las características de los enunciados dados por el grupo experimental y para el de control respectivamente. Un análisis de los mismos (cuadro 5.2) indica que en el primer caso se trata de enunciados bastante más dirigidos que en el segundo, facilitando una información más concisa y mejor organizada, con referencias claras a elementos de la instrucción familiares para los alumnos (organización del conocimiento mediante mapas conceptuales). Estas diferencias, por sus propias características, interferirán, con toda probabilidad, con la dimensión DIC del estilo cognitivo (López Rupérez et al, 1991; Linn et al, 1978), variable que no ha sido controlada en la investigación de Novak y que, sin embargo, podría estar afectando a los resultados finales.

A pesar de la valoración, a nuestro juicio, extremadamente optimista por parte de los autores respecto de los resultados empíricos obtenidos, lo cierto es que de ellos sólo se deduce con suficiente claridad que, ante el enunciado de un problema de Física

CUADRO 5.2.: Texto íntegro de la cuestión presentada como ejemplo del tipo de test empleados por Novak et al. (1983) en su investigación.

Se deja una botella de vino vacía en el refrigerador durante toda la noche y a la mañana siguiente se saca fuera. Se tapa con un corcho la boca de la botella y se coloca en el antepecho de la ventana hasta donde es alcanzada or el calor de los rayos solares. Algunos minutos después el corcho salta de repente de la botella.

Para las clases "control"

Cuestión 1: Explica por qué el corcho salta de la botella. Incluye los términos expansión, gas, calor, energía cinética, moléculas, presión, temperatura y volumen en tu respuesta. Tómame unos pocos minutos para organizar tus ideas antes de comenzar a escribir la respuesta.

Para las clases "experimentales"

Cuestión 1: Construye un mapa conceptual que incluya los conceptos del párrafo anterior y cualquier otro que desees incluir.

Cuestión 2: Describe tu mapa conceptual expresándolo en forma de párrafos. Asegúrate de que incluye todos los conceptos presentes en tu mapa y explica por qué el corcho salta de la botella.

elemental y cualitativo, los estudiantes del grupo experimental evidencian en sus contestaciones un número de relaciones entre conceptos significativamente mayor que el de los estudiantes de las clases consideradas como control. Los resultados de los análisis de correlación entre las puntuaciones obtenidas en mapas conceptuales y las puntuaciones en medidas de rendimiento estandarizadas fueron, sin embargo, negativos.

El trabajo de Bascones (Bascones et al, 1985), en el que el propio Novak figura como coautor, se aproxima, sin embargo, más al nuestro por las características de los problemas de Física utilizados como tests en función de los niveles educativos considerados (edad media 14 años y 4 meses). En esta investigación, por contra, el tratamiento fue más enérgico que en la nuestra ya que se sometió al grupo experimental a una metodología ausubeliana entre cuyos elementos se incluyó la elaboración de mapas conceptuales. Los resultados de esta investigación parecen indicar un efecto significativo del tratamiento sobre la resolución de problemas. Dando por buenos sus resultados, la comparación con los nuestros revelaría entonces la influencia de un tercer factor relevante cual es la intensidad del tratamiento, que junto con las características individuales del sujeto resolvente y la naturaleza del problema anteriormente discutida, podrían modular la relación entre tratamiento y efectividad. La influencia de esta tercera variable en un contexto similar, aunque no ausubeliano, ha sido detectada por Eylon et al (1984).

Sin embargo, pueden plantearse algunas críticas al trabajo de Bascones que arrojan ciertas dudas sobre la posibilidad de comparar ambas investigaciones —la suya y la nuestra— y tratarlas como si se diferenciaban tan sólo en una cuestión de grado. En primer lugar no se dice explícitamente que la variable profesor haya sido controlada en la investigación, lo cual puede ser importante habida cuenta de la drástica influencia de dicha variable en la efectividad del proceso enseñanza/aprendizaje. En segundo lugar, el sistema de puntuación empleado (ver cuadro 5.3) contempla aspectos más generales del proceso frente a los más específicos del producto, característicos de nuestro procedimiento de calificación. Tales aspectos podrían ser, de hecho, más sensibles a la organización del conocimiento conceptual (ver los apartados 2.2 y 2.3, por ejemplo, del referido cuadro) de modo que, un alumno experimental genéri-

CUADRO 5.3.: Procedimiento de puntuación empleado por Bascones et al. (1985) en su investigación.

1. <u>Iniciación</u>	Esta etapa está relacionada con la identificación del problema. El estudiante debería ser capaz de:
2 puntos	1.1. Conocer qué cuestiones plantea el problema.
1 punto	1.2. Identificar la situación problemática.
2 puntos	1.3. Efectuar un diagrama de la situación.
2. <u>Obtención de datos</u>	En esta etapa el estudiante debería ser capaz de:
1 punto	2.1. Organizar los datos disponibles.
1 punto	2.2. Identificar los conceptos y mostrar sus relaciones (mapa conceptual).
1 punto	2.3. Reconocer los conceptos ausentes.
1 punto	2.4. Diseñar un método para resolver el problema.
3. <u>Conceptualización de los datos</u>	En esta etapa el estudiante debería ser capaz de progresar de los datos disponibles hacia la conceptualización, de modo que pueda:
2 puntos	3.1. Determinar si ha elegido el método correcto de valoración de la estructura del problema.
4. <u>Conclusión</u>	El estudiante debería ser capaz de:
2 puntos	4.1. Efectuar el resumen de los hallazgos, cuestionando su validez de acuerdo con el texto del problema tras su resolución.
2 puntos	4.2. Discutir los límites de validez de los resultados.

co podría obtener por tal motivo una puntuación no despreciable sin conseguir resolver finalmente el problema.

Por último, las dos investigaciones anteriormente descritas tienen en común el que se refieren a resultados en resolución de problemas obtenidos, en un nivel elemental, pero además comportan el hecho de que en ellas los mapas conceptuales aparecen como recurso instructivo junto con otros de corte ausubeliano dentro

de un mismo paquete. Tales circunstancias limitan el interés de las referidas investigaciones en orden a responder a la pregunta de si la construcción de mapas conceptuales de tipo jerárquico por parte de los alumnos influye significativamente en la efectividad en la resolución de problemas de Física. Dicha limitación ha sido, en parte, señalada por Bascones et al (1985) cuando reconocen explícitamente la necesidad de desarrollar investigaciones que permitan identificar cuál de los elementos del sistema instructivo empleado tiene mayor poder predictivo sobre la efectividad en la resolución de problemas. Pero, además, queda por resolver el papel de dichos mapas cuando los problemas se aproximan a los característicos de la Física superior.

4. Algunas implicaciones para la enseñanza de la física

Los diferentes análisis empíricos contenidos en el presente Estudio I han puesto en evidencia, con bastante claridad y consistencia, algunos resultados que en este apartado final nos proponemos resaltar en los siguientes términos:

- i) La DIC correlaciona significativamente con la efectividad en la resolución de problemas de Física aunque en diferente grado, siendo mayor tal conexión en los llamados problemas generales frente a los estándar.
- ii) La DIC correlaciona, particularmente, con la efectividad en la resolución de aquellos problemas de Física que requieren el manejo, ya sea gráfico ya sea analítico, de una representación esquemática de la situación planteada en el enunciado. En este grupo se encuentran un buen número de problemas de Mecánica y, en general, aquellos otros que implican una representación vectorial.
- iii) La construcción de los mapas conceptuales empleados no influye significativamente sobre la efectividad en la resolución de problemas de Física de carácter cuantitativo.

Estas tres conclusiones mayores, derivadas de nuestra investigación, llevan consigo algunas implicaciones de cara a la enseñan-

za de la Física. Así, dadas las limitaciones que presentan los sujetos más dependientes de campo para manejar con éxito esquemas de resolución que se apoyen en una representación gráfica (de tipo conceptual) del enunciado, la enseñanza debería proporcionar, particularmente a este tipo de alumnos, suficientes oportunidades para familiarizarse con el manejo de esquemas y representaciones gráficas en contextos correspondientes a hechos o a fenómenos físicos diversos. Existe una cierta propensión en el profesor de Física a trivializar las dificultades que plantea, por ejemplo, el manejo de las descripciones vectoriales de la Mecánica en sus aspectos gráficos. Parecería que se trata ésta de una destreza adquirida por los alumnos en las correspondientes clases de Matemáticas. Los resultados anteriormente expuestos nos advierten, sin embargo, de que la cuestión no es tan simple y que probablemente esa transferencia de lo meramente formal, característico del enfoque matemático, a lo formal pero implicado en la representación de lo real, propio del enfoque físico, no es en absoluto automática, particularmente para los alumnos más dependientes de campo.

En un plano más amplio, la enseñanza de la Física debería tomar en consideración las limitaciones que presentan los alumnos más dependientes de campo a la hora de reestructurar el conocimiento y que explicarían sus mayores dificultades frente a los independientes ante la resolución de problemas generales. Se trataría, por tanto, de orientar la enseñanza a fin de que el conocimiento quedara finalmente organizado de un modo tal que facilitara las tareas de reestructuración cognitiva siempre presentes en la resolución de este tipo de problemas. La sugerencia planteada por Reif y col. (Reif, 1981, 1983; Eylon et al, 1984) al poner el acento no sólo en los aspectos jerárquicos del conocimiento sino también en los funcionales, podría constituir un procedimiento adecuado para reducir esas diferencias en la resolución de problemas de Física atribuibles a la DIC.

Finalmente, los resultados negativos obtenidos para los mapas conceptuales, en orden a mejorar significativamente la efectividad en la resolución de problemas de Física, plantean la necesidad de diseñar otra clase de mapas que conserven las ventajas de aquéllos pero que estén más adaptados al tipo de tareas características de las Ciencias Físicas; mapas que comprendan algo más que la referencia a los conceptos y a sus relaciones jerárquicas, sino que

incluyan también información sobre la estructura fina de cada concepto y sobre sus reglas de uso, elementos ambos facilitadores de la producción de inferencias y, por tanto, claves en la sustanciación del conocimiento procedimental. Tales **mapas de conocimiento** —que es el nombre que proponemos para esta nueva herramienta de enseñanza/aprendizaje— tanto por su concepción como por su previsible extensión, requerirán una organización material diferente de la de los mapas conceptuales. Como hemos sugerido en otro lugar (López Rupérez, 1987) dicha organización podría articularse en distintas hojas (planos), reflejando así diferentes niveles de detalle (Reif, 1980). Un mapa tipo Novak podría constituir, en tal caso, la representación del sistema conceptual correspondiente a un primer o a un segundo nivel de refinamiento. En una próxima investigación, ya iniciada (López Rupérez, 1989), pretendemos, entre otros objetivos, desarrollar y evaluar los mapas de conocimiento como un instrumento de enseñanza/aprendizaje especialmente adaptado a la Física y a la naturaleza de su exigencia intelectual.

CAPITULO 6

ESTUDIO II: MAPAS CONCEPTUALES Y ESTRUCTURA COGNITIVA DE ESTUDIANTES DE FISICA

1. Introducción

Los resultados negativos obtenidos en relación con la influencia de los mapas conceptuales en la efectividad de resolución de problemas de Física es interpretable desde la perspectiva de las diferencias en el tipo de conocimiento que la realización de una y otra tareas supone. El conocimiento declarativo constituye una componente esencial del conocimiento científico y es condición necesaria para la resolución de problemas suficientemente complejos. Por tal motivo, en el contexto de nuestra investigación nos pareció oportuno el efectuar un análisis empírico del efecto que sobre la estructura conceptual del alumno ejerce la construcción del mapa conceptual, considerando ésta, al igual que en el Estudio I, como un elemento terminal de un ciclo completo de aprendizaje.

El que los mapas conceptuales hayan sido introducidos por Novak como instrumento de enseñanza/aprendizaje unido a la conexión natural entre su versión de mapa conceptual y la teoría de Ausubel del aprendizaje significativo (Novak et al, 1983) ha hecho que su evaluación se haya efectuado, por lo general, como un elemento más dentro de un conjunto de estrategias didácticas prescritas por dicha teoría (Bascones et al, 1985).

En nuestra investigación, sin embargo, se ha tratado de evaluar lo que añade por sí mismo el mapa conceptual en tanto que

instrumento didáctico; de ahí que se haya tomado su construcción como tratamiento en una fase terminal del proceso de aprendizaje y como elemento adicional a una instrucción reglada. Además, y a diferencia de estudios anteriores en los que se ha optado por un diseño, ya sea de tipo experimental (Moreira et al, 1985) ya sea de tipo correlacional (Novak et al, 1983) que se apoya en alguna forma de calificación de los mapas conceptuales —cuya validez, dada la naturaleza de dichos mapas, es cuando menos dudosa (Stuart, 1985)—, en el presente estudio, al igual que en el anterior, hemos recurrido a un diseño experimental en el que la variable dependiente fuese medida con instrumentos ajenos al propio mapa, como lo son los tests de asociación de palabras. Todo ello ha permitido aislar, dentro de lo posible, el efecto del tratamiento y mejorar, respecto de otras investigaciones, la validez interna del experimento.

2. Metodología

2.1. MUESTRA

La muestra sobre la cual se efectuó este segundo estudio empírico fue seleccionada de un modo incidental, si bien se tuvieron en consideración algunos elementos de control muestral. Así, tras una exposición de los elementos esenciales de la investigación, de sus fines y de sus procedimientos dirigida a los alumnos de COU de Ciencias del Instituto Español de París (curso escolar 1987-88) se constituyó la muestra efectiva, formándose únicamente ésta por alumnos comprometidos, de un modo voluntario, con la experiencia. Los 18 estudiantes así reclutados, se agruparon en tres niveles de clasificación de acuerdo con los resultados del rendimiento en Física obtenidos a lo largo del primer trimestre. Cada nivel de calificación contenía seis alumnos de rendimiento análogo entre los cuales se efectuó una asignación al azar al grupo experimental o al grupo de control. De este modo, y dada la limitada extensión de la muestra ($N = 18$), pretendimos reducir en lo posible el sesgo introducido mediante una asignación por simple azar.

2.2. HIPOTESIS

Formuladas en términos positivos, las hipótesis conductoras del presente estudio fueron las siguientes:

1. El trabajo personal del alumno, como etapa decisiva previa a la realización de un examen, debe traducirse en un enriquecimiento de su estructura cognitiva (asociativa) medida mediante tests de asociación de palabras.
2. La confección personalizada, por parte del alumno, de mapas conceptuales, como instrumento de organización del conocimiento conceptual, debe mejorar la estructura cognitiva (asociativa) medida mediante este tipo de pruebas.

2.3. INSTRUMENTOS Y VARIABLES

Los instrumentos de medida empleados en el presente estudio consistieron en una serie de tres tests de asociación de palabras correspondientes, cada uno de ellos, a los temas TRABAJO Y ENERGIA MECANICA, DINAMICA DEL SOLIDO RIGIDO y CAMPO ELECTRICO respectivamente. El cuadro 6.1 muestra las tres series de "palabras estímulo" relativas a dichos temas. Con ocasión de la primera de estas pruebas, los alumnos recibieron la hoja de instrucciones que se muestra en el cuadro 6.2. Siguiendo a Shavelson (1972) se concedió a los alumnos intervalos sucesivos de un minuto para producir "palabras respuesta" asociadas con cada una de las palabras estímulo.

En el presente estudio se ha elegido como variable indicadora de la asociación conceptual de los alumnos, el número de palabras respuestas que están relacionadas con la palabra estímulo mediante alguna ecuación o cadena de ecuaciones. La selección de esta variable y no de otras —como el número total de palabras respuestas emitidas— viene recomendada por los resultados obtenidos en estudios previos en los cuales la conexión con otras variables relativas al aprendizaje de la Física se ha revelado más fuertemente significativa (Shavelson, 1974); pero además, la orientación dada en la presente investigación a los mapas de tipo jerárquico como instrumento de enseñanza/aprendizaje se corresponde con una explicitación —establecida, desde luego, a partir de criterios pedagógi-

CUADRO 6.1.: Relación de las diferentes series de "palabras estímulo" presentadas a los alumnos en las correspondientes pruebas.

Trabajo y energía	Distancias del estímulo	Campo electrostático
Posición	Angulo de rotación	Carga eléctrica
Velocidad	Momento de inercia	Intensidad de Campo
Fuerza	Velocidad angular	Potencial
Potencia	Momento de la fuerza	Gradiente
Energía cinética	Energía de rotación	Trabajo eléctrico
Energía potencial	Trabajo de rotación	Fuerza electrostática
Energía	Momento angular	Permitividad dieléctrica
Trabajo	Aceleración angular	Energía potencial electrostática

cos— de la estructura conceptual de la Física, o de una porción limitada de ella, en su dimensión operacional. Parecía, entonces, razonable adecuar al máximo posible la definición del efecto medible a la naturaleza del tratamiento. Por otra parte, se trata el anterior de un criterio de selección que puede ser aplicado, por lo general sin ambigüedad, por un profesor de Física.

Dado que se aplicaron tres pruebas diferentes y cada una de ellas en dos ocasiones sucesivas, representamos la variable efecto en la forma N_{ij} , donde el primer subíndice designa el número de la prueba ($i = 1, 2, 3$) y el segundo designa el instante, anterior ($j = 1$) o posterior ($j = 2$) al tratamiento, en el que la prueba fue aplicada.

El recurso a otras variables más sofisticadas como los coeficientes de relacionabilidad o las distancias semánticas (Shavelson, 1972; Thro, 1978), tan frecuentes en el análisis de resultados de los tests de asociación de palabras, fue ignorado provisionalmente en nuestra investigación en tanto las hipótesis planteadas, y particularmente la segunda, no fueran contrastadas. Sólo si se demostraba que el tratamiento modifica de una forma significativa la estructura conceptual (asociativa) de los estudiantes tendría sentido proceder, entonces, a una exploración más fina de dicha estructura asociativa.

2.4. TRATAMIENTO

El tratamiento efectuado en el presente estudio coincide con el aplicado en el Estudio I y descrito anteriormente, por lo que remitimos al lector al correspondiente apartado de dicho estudio empírico.

CUADRO 6.2.: Hoja de instrucciones correspondiente al primer test de asociación de palabras aplicado que fue omitida posteriormente en test sucesivos. (Adaptado de Shavelson, 1974).

HOJA DE INSTRUCCIONES

Esta prueba es un test de asociación de palabras que pretende determinar cuántas palabras puedes pensar y escribir, a partir de una dada, en un intervalo de tiempo corto. En la parte superior de una hoja se te presentará una palabra clave que representa un concepto de Física y deberás escribir debajo todas aquellas palabras que te vengan a la mente a partir de la palabra clave. Dispondrás de otras tantas hojas para otras tantas palabras clave. Probablemente no seas capaz de rellenar todos los espacios de cada página, pero intenta hacerlo lo mejor posible.

A modo de ejemplo, supón que se pide a un electricista que escriba tantas palabras relacionadas con la electricidad, que es su especialidad, como sea capaz de pensar a partir de la palabra "conductor". Probablemente escribiría lo siguiente:

CONDUCTOR

Conductor <u>metal</u>	Conductor <u>resistencia</u>
Conductor <u>carga</u>	Conductor _____
Conductor <u>transmite</u>	Conductor _____

Como se trata de un electricista fijate que no ha escrito las palabras "tren", ni "trolebús", ni "guía", por ejemplo, pues no están relacionadas con el concepto eléctrico de "conductor". En la situación real deberás pensar, en este caso, como un físico cuando vayas a realizar la prueba. Dispondrás de un minuto para cada página, pero no pases a la siguiente hasta que no se te avise.

2.5. DISEÑO EXPERIMENTAL Y TECNICAS DE ANALISIS

El diseño experimental, orientado por las hipótesis de partida, se atuvo a un modelo simple pretest-postest con grupo de control (Campbell et al, 1973) del tipo:

$$\begin{array}{l} RO_1 \times O_2 \\ RO'_1 \quad O'_2 \end{array}$$

con la salvedad de que la aleatorización (R) de los grupos experimental y de control ha sido efectuada dentro de estratos de rendimiento inicial equivalente.

Así, justo antes de dar por terminado cada tema de Física de los tres considerados se les aplicó el mismo test de asociación de palabras a los estudiantes del grupo experimental y a los del grupo de control, dando lugar a las observaciones O_1 y O'_1 respectivamente, medidas a través de las variables N_{i1} ($i = 1, 2 \text{ ó } 3$). Las observaciones O_2 y O'_2 se produjeron posteriormente como preámbulo a los exámenes correspondientes a los respectivos temas y dentro de la propia sesión de examen. Para el grupo de control la variación que puede derivarse de la comparación entre la observación O'_1 y O'_2 será atribuible a la actividad desarrollada por el alumno y, eventualmente, por el profesor, en orden a preparar el referido examen. En el caso del grupo experimental para interpretar las diferencias entre O_1 y O_2 habrá que tomar en consideración, además, el efecto del tratamiento (X), esto es, la elaboración personalizada, por parte del alumno, del mapa conceptual sobre el correspondiente capítulo a examen. Las medidas relativas a este segundo instante corresponden a las variables N_{i2} ($i = 1, 2 \text{ ó } 3$).

Como técnicas de análisis se emplearon, en cada una de las situaciones de medida, sendas versiones de la t de Student (Serramona, 1980) para la comparación de medias referidas a muestras pequeñas ($n < 30$) y relativas, bien a muestras independientes, si se trataba de comparar el grupo experimental con el de control, o bien a muestras apareadas, si se pretendía comparar, para cada uno de estos dos grupos separadamente considerados, el antes con el después.

Aun cuando un análisis de covarianza en el que se considerara como covariable las puntuaciones de los pretest aumentaría la sensibilidad estadística de la prueba, nos ha parecido conveniente, dado el carácter reducido de la muestra, optar por este test más grosero o "conservador" antes que arriesgarnos a incurrir en los "falsos positivos" (Campbell et al, 1973 p. 52). No obstante cuando se efectúa dicho tipo de análisis estadístico no se obtienen, en este caso, conclusiones diferentes de las que presentaremos más adelante.

3. Resultados

Los resultados obtenidos en las diferentes aplicaciones de los tests de asociación de palabras, junto con sus fechas respectivas, se presentan en la tabla 6.1 en donde figuran, además, las iniciales de los alumnos que participaron en el experimento así como las calificaciones en Física relativas al primer trimestre. Lo esencial de la información cuantitativa recogida en la referida tabla se muestra en la figura 6.1 en donde se representan el número de palabras respuesta —seleccionadas de acuerdo con la condición anteriormente definida— y su variación con el tiempo para cada una de las pruebas; estableciéndose una distinción explícita entre el grupo experimental y el de control. La tabla 6.2 recoge los resultados derivados de los análisis estadísticos efectuados sobre los datos de la tabla 6.1; en ella se presentan, en cada caso, los valores de la t de Student resultante, del número de grados de libertad (gl) y del nivel de significación estadística (p).

3.1. INFLUENCIA DEL TRABAJO PERSONAL

La influencia del trabajo esencialmente personal, orientado a la preparación del examen correspondiente a cada uno de los temas de Física considerados en el presente estudio empírico, se deja sentir con toda claridad en la estructura conceptual (asociativa) de los alumnos de modo que, como queda reflejado en la figura 6.1, tanto el grupo experimental como el de control progresan, en cuanto al número de “palabras respuesta” seleccionadas, en cualquiera de los tres capítulos de Física sobre los que se efectuó el experimento. Además, cuando se considera la significación estadística de las diferencias (ver tabla 6.2) se aprecia que tales diferencias son, en todos y cada uno de los casos, estadísticamente significativas. Ello implica que la hipótesis nula —que, como es sabido, es el tipo de hipótesis que prueba directamente las técnicas estadísticas— es rechazada y, por contra, resulta validada la hipótesis alternativa, que ha sido designada con anterioridad como **hipótesis 1**. Como consecuencia del proceso completo de aprendizaje se ha producido un cambio sustancial en la estructura conceptual (asociativa)

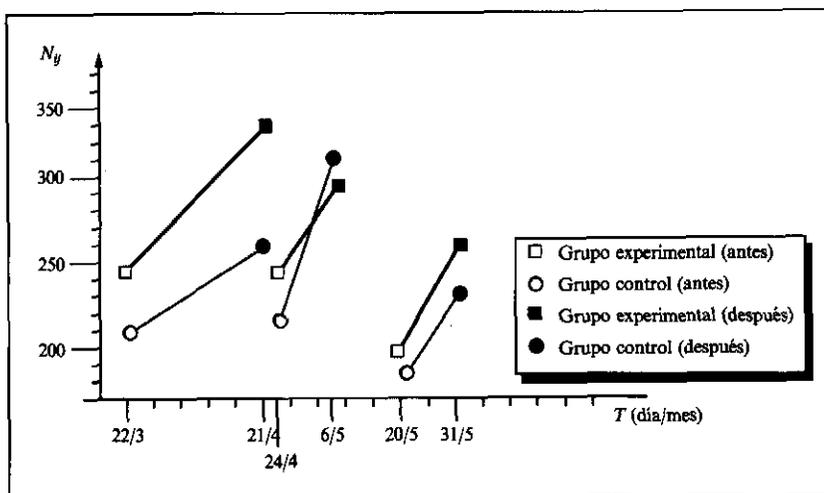


FIGURA 6.1.: Representación gráfica de la variación del número de “palabras respuesta” (relacionadas con la “palabra estímulo” correspondiente mediante una ecuación o una cadena de ecuaciones) entre el antes y el después del tratamiento para los grupos experimental y de control. Los tres pares de líneas se refieren a los resultados de los respectivos test de asociación de palabras.

de los estudiantes, cambio que ha sido detectado, siquiera sea groseramente, a través de los tests de asociación de palabras.

3.2. INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO

La influencia del tratamiento se advierte “grosso modo” por el carácter divergente de las rectas que, en la figura 6.1, unen los puntos correspondientes a los momentos antes/después para los grupos experimental y de control, respectivamente. Tal circunstancia se aprecia en los resultados relativos a los capítulos 1 y 3, aunque no en los del capítulo 2. No obstante, cuando tal apreciación se somete al rigor del análisis estadístico se advierte que no existen diferencias significativas entre los grupos experimental y de control ni antes ni después del tratamiento en ninguno de los casos considerados. La ausencia de diferencias significativas para los valores iniciales asegura la deseada equivalencia estadística de los grupos experimental y de control. Sin embargo, en el caso de los valores

TABLA 6.1.: Resultados correspondientes a las distintas aplicaciones de los tests de asociación de palabras. Los números representados por N_{ij} indican número total de "palabras respuesta" relacionadas con la "palabra estímulo" mediante una ecuación o serie de ecuaciones en cada una de las aplicaciones de los diferentes tests. G_i representa la variación observada, en cada caso, entre el antes y el después del tratamiento (Ganancia). La calificación recoge la valoración del rendimiento de los diferentes alumnos durante el primer trimestre académico previo a la realización del experimento.

GR.	Nombre	Cond.	N_{11}	N_{21}	G_1	N_{12}	N_{22}	G_2	N_{13}	N_{23}	G_3
EXPERIMENTAL	S.V.	IS.	27	42	15	26	20	-6	9	24	15
	L.P.	IS.	28	44	16	24	29	5	27	30	3
	F.B.	IS.	13	23	10	22	21	-1	16	15	-1
	C.E.	SF.	25	28	3	13	17	4	11	10	-1
	D.T.	SF.	21	35	14	27	33	6	27	26	-1
	I.D.	SF.	45	59	14	36	39	3	31	42	11
	F.P.	NT.	20	24	4	21	34	13	16	16	0
	H.R.	NT.	34	47	13	34	53	19	29	55	26
	M.G.	SB.	32	37	5	38	45	7	32	40	8
CONTROL	C.C.	IS.	10	14	4	20	31	11	21	25	4
	G.M.	IS.	24	29	5	41	48	7	39	40	1
	D.A.	IS.	25	17	-8	11	9	-2	5	11	6
	R.F.	SF.	26	38	12	28	41	13	17	25	8
	A.I.	SF.	20	18	2	2	6	4	11	20	9
	R.R.	SF.	20	33	13	22	40	18	12	19	7
	P.O.	SF.	29	29	0	22	45	23	17	19	2
	A.M.	NT.	28	45	17	38	52	14	28	37	9
	S.S.	NT.	26	37	11	30	42	12	32	35	3
Sumas (GR.EXP.)			245	339	94	241	291	50	198	258	60
Sumas (GR.CTRL.)			208	260	52	214	314	100	182	231	49
Fechas (1988)			22/3	21/4		24/4	6/5		20/5	31/5	

TABLA 6.2.: Resultados del análisis estadístico de los datos recogidos en la tabla 6.1. Las dos primeras líneas corresponden a la aplicación de la t de Student para muestras dependientes o apareadas, en tanto que las dos últimas corresponden a la aplicación de la t de student para muestras independientes.

	Trabajo y energía (1)			Distintos del sólido (2)			Carga electrostática (3)		
	t	g^*	P	t	g^*	P	t	g^*	P
GR.EXP. A/D	6,5*	8	< 0,01	2,4*	8	< 0,05	3,5*	8	< 0,01
GR.CTRL. A/D	2,3*	8	< 0,05	4,9*	8	< 0,01	5,3*	8	< 0,01
GR.E./GR.C. A	1,1	16	> 0,10	0,6	16	> 0,10	0,4	16	> 0,10
GR.E./GR.C. D	1,7	16	> 0,10	0,4	16	> 0,10	0,5	16	> 0,10

g^* = n° de grados de libertad; A = antes del tratamiento; D = después del tratamiento.

(*) Valor correspondiente a una diferencia entre medias estadísticamente significativa.

finales, tal circunstancia no nos permite rechazar la hipótesis nula planteada en términos de “no diferencias”, o lo que es lo mismo, la hipótesis 2 no queda validada por el experimento. Por tanto, a la luz de nuestros resultados no podemos sostener, fundadamente, que la elaboración de mapas conceptuales haya modificado suficientemente el aspecto de la estructura conceptual (asociativa) de los estudiantes que miden los tests de asociación de palabras. Parece como si el tratamiento no añadiera a dicha estructura mucho más de lo que añade la preparación y el estudio personal, supuestamente intensos, con vistas a la realización de un examen.

4. Discusión

Del presente experimento se derivan dos conclusiones relativamente claras: la influencia, estadísticamente significativa, del estudio y la preparación personal en la estructura conceptual (asociativa) del alumno y la influencia no significativa, en tanto que elemento adicional, de la construcción por el alumno del correspondiente mapa conceptual. Además, como tendremos oportuni-

dad de plantear en lo que sigue, la validez de tales conclusiones no resulta independiente una respecto de la otra sino que están relacionadas entre sí.

A la hora de discutir el efecto de la preparación y estudio personal de cara a la realización de un examen, cabe resaltar tanto su *significación estadística como su consistencia a lo largo de las tres ocasiones en las que el experimento fue repetido*. Ambas circunstancias revelan algo ciertamente plausible, a saber, que este tipo de tareas al suponer una *profundización, por parte del alumno*, en los diferentes elementos temáticos mejoran, cuando menos, la estructura conceptual del sujeto en sus aspectos asociativos. Pero, además, una tal congruencia entre lo previsible y lo resultante constituye un elemento de validación del instrumento y del método de medida. Los tests de asociación de palabras se revelan, por tanto, de nuevo como una herramienta válida para detectar cierto tipo de cambios en la estructura cognitiva de los alumnos si dichos cambios son de suficiente magnitud.

No es ésta la primera vez que se plantea el problema de la validez de los test de asociación de palabras. En anteriores investigaciones Shavelson et al (1975) han establecido la validez de dicha herramienta y otros han contribuido a reforzarla al detectar variaciones significativas en la estructura conceptual (asociativa) de los alumnos como consecuencia de la instrucción (Thro, 1978; Shavelson, 1972, 1973; Johnstone et al, 1985; Gussarsky et al, 1988). En la presente investigación hemos centrado, sin embargo, nuestra atención en un intervalo restringido del proceso de instrucción especialmente significativo en orden a producir alteraciones en el sistema de relaciones conceptuales, dado que conlleva un protagonismo ineludible de la actividad intelectual del sujeto. Los resultados obtenidos contribuyen, pues, a reforzar la validez del instrumento empleado.

Frente a este primer resultado positivo, con respecto a las expectativas resumidas en la hipótesis 1, el resultado negativo obtenido con relación a la hipótesis 2 requiere un análisis más detallado, toda vez que parece contradecir las expectativas asociadas a una corriente de investigación tan consolidada como la del profesor Novak y su grupo de la Universidad de Cornell. Admitiendo, como punto de partida, una postura de extrema confianza en relación con la efectividad de los mapas conceptuales como instrumen-

to de enseñanza/ aprendizaje, cabría explicar los resultados negativos del presente estudio situándose en posiciones como las siguientes:

- a) Desconfiar del instrumento de medida
- b) Desconfiar de la oportunidad del tratamiento

En relación con la primera posición es necesario asumir, sin duda alguna, sus limitaciones. Se trata ciertamente de una herramienta que no da información, por ejemplo, de los aspectos proposicionales de la estructura conceptual. Así, el hecho de que dos series de "palabras respuestas" sean idénticas no supone, necesariamente, que la estructura proposicional sea la misma en ambos casos, e incluso ambas podrían ocultar errores conceptuales importantes.

La estructura asociativa —que es considerada por los "associative mappers" como un patrón de relaciones entre conceptos establecido en la memoria a largo plazo y que se deriva, en todo o en parte, de las estructuras cognitivas en la memoria semántica (Thro, 1978)— constituye, sin lugar a dudas y en el caso que nos ocupa, el aspecto más superficial o laxo de la estructura cognitiva de un sujeto. Una tal limitación —que se hace, por lo demás, evidente ante el corrector de los tests de asociación de palabras cuando dispone de una información derivada del conocimiento personal de los alumnos y de sus actuaciones en contextos de instrucción variados— explica la ya referida crítica de Strike y Posner (1976) respecto de los tests de asociación de palabras cuando afirma que *"no queda claro de qué cosa se está representando su estructura"* (p. 125). Sin embargo, si fuéramos capaces de desarrollar un test válido y fiable que nos permitiera medir la estructura cognitiva en sus aspectos proposicionales habríamos refinado, ciertamente, nuestra aproximación y nos habríamos visto, además, liberados de las connotaciones conductistas de los términos empleados pero, análogamente a lo que sucedía en el caso anterior, la existencia de dos estructuras proposicionales idénticas no nos aseguraría, en este caso, un comportamiento análogo de los correspondientes sujetos ante una tarea de resolución de problemas en la que hubiera de intervenir una contribución sustancial de conocimiento procedimental.

El contenido del conocimiento científico y su organización en la mente de un sujeto constituye una realidad compleja a la que nos aproximamos mediante modelos cognitivos. Pero tales modelos, por su propia naturaleza, constituyen aproximaciones parciales a dicha realidad. Utilizando como imagen la dimensión de la profundidad podríamos postular una progresión de lo superficial a lo profundo según la secuencia *estructura asociativa* → *estructura proposicional* → *estructura procedimental*. Sólo los modelos que tomen en consideración una tal dimensión podrán dar cuenta de la complejidad del conocimiento que se pone en juego en el aprendizaje científico.

Asumiendo, pues, como limitación el hecho de que los tests de asociación de palabras se dirijan a los aspectos más laxos —o si se quiere más superficiales— de la organización cognitiva del sujeto, la desconfianza sobre la validez del instrumento de medida no está justificada, como lo prueban los resultados positivos obtenidos en relación con la hipótesis 1. Los tests de asociación de palabras podrían revelar cambios en la estructura asociativa inducidos por el tratamiento si estos fueran suficientemente importantes, pero a lo que parece no lo son.

En relación con las características del tratamiento cabe señalar que se ha exigido a los mapas una densidad y una jerarquización adecuada, por una parte, a la riqueza conceptual del tema y, por otra, al procedimiento de construcción del mapa. La figura 6.2 ilustra, a modo de ejemplo, uno de los mapas del alumno experimental M.G. A pesar de la indudable calidad del mapa y de tratarse del alumno con mejores resultados académicos, cuando se compara su comportamiento con el de otros no sometidos a tratamiento (ver tabla 6.1) no se observa una superioridad sistemática. Del análisis de los diferentes mapas se deduce que el tratamiento fue, en términos generales, como se esperaba que fuera, esto es, traduciéndose en mapas conceptuales suficientemente ricos, complejos y jerarquizados. Es posible, no obstante, poner en duda la intensidad de dicho tratamiento; esa es, desde luego, otra cuestión que afecta más a la herramienta y a sus características que a la naturaleza del tratamiento en sí. Un mapa conceptual, si se hace bien, puede llevar al alumno una o dos horas y es posible que, frente al número de horas que requiere la preparación de un exa-

men, dicho tiempo sea una cantidad irrelevante; pero como tarea a realizar por el estudiante no da mucho más de sí.

Un defensor ferviente de la teoría de Ausubel podría, además, argumentar que los mapas empleados no respetan, estrictamente hablando, la idea de inclusividad conceptual que constituye un elemento fundamental de dicha teoría. La realidad es que en absoluto la rechazan; basta con analizar, por ejemplo, el mapa representado en la figura 5.2 (p. 66), correspondiente al tema de Trabajo y Energía, para darse cuenta de que dicha idea está presente en la mayor parte del mapa; así, el concepto de energía es más general —en el sentido de más inclusivo— que el de trabajo según el enfoque didáctico aportado a los alumnos y cuya justificación hemos presentado en otro lugar (López Rupérez et al, 1983) y, al igual que el de fuerza, está situado en la posición más elevada de la jerarquía. Por otra parte, las críticas vertidas más arriba en relación con los mapas conceptuales, al no estar relacionadas estrictamente con el referido principio de inclusividad, afectan también a los mapas jerárquicos tipo Novak.

Cabe efectuar, finalmente, un análisis crítico del experimento y de sus resultados tomando en cuenta la naturaleza de las variables consideradas. Con todas las limitaciones derivadas del carácter restringido de la muestra, parece que la construcción del mapa conceptual por parte de los alumnos, tras una instrucción completa, no influye significativamente en los aspectos asociativos de la estructura conceptual del individuo. Como hemos señalado antes, una misma estructura asociativa no supone, necesariamente, una misma estructura proposicional o de significado y muy bien pudiera ser que la construcción del mapa conceptual mejorara ésta sin alterar apreciablemente aquélla.

Como instrumento derivado de la teoría de Ausubel, el mapa conceptual tipo Novak pretende propiciar un aprendizaje significativo mejorando el conocimiento sobre las relaciones entre los conceptos. Un aprendizaje memorístico suficientemente intenso podría traducirse en una secuencia numerosa de “palabras respuesta” ante una “palabra estímulo” dada, sin suponer por ello un conocimiento preciso de su significado dentro de un sistema conceptual de naturaleza relacional como lo es el que corresponde particularmente a la Física. Un planteamiento similar puede ser aplicado al tipo de mapas conceptuales utilizados en la presente investigación, según

la cual la construcción del mapa parece añadir muy poco al proceso completo de instrucción (incluido el estudio personal) en lo que respecta a su influencia sobre los aspectos asociativos de la estructura conceptual. Sin embargo, su posible influencia sobre los aspectos proposicionales o de significado constituye una cuestión abierta cuya respuesta pasa, necesariamente, por la elaboración de instrumentos capaces de captar una tal dimensión del conocimiento científico en la memoria del estudiante.

CAPITULO 7

ESTUDIO III: ORGANIZACION Y REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO EN SUJETOS BUENOS RESOLVENTES Y EN SUJETOS MALOS RESOLVENTES ANTE PROBLEMAS DE FISICA

1. Introducción

Después de que la comunidad científica que trabaja en el ámbito educativo sostuviera una, en ocasiones, dura controversia sobre la validez y la oportunidad de la metodología de investigación cuantitativa frente a la metodología de investigación cualitativa, parece haberse llegado al consenso en el sentido khuniano del término (Gutiérrez, 1987); un consenso que reconoce el carácter complementario de ambos tipos de procedimientos (Roberts, 1982; Welch, 1983). La conocida frase de Campbell y Stanley (1973), que presentaba el método experimental como *"la única forma de verificar adelantos en el campo pedagógico y el único método para acumular un saber al cual puedan introducirse mejoras sin correr el peligro de que se descarten los conocimientos ya adquiridos a cambio de novedades de inferior calidad"* (p. 11), ha sido rebasada, de hecho y particularmente, por los resultados de investigaciones de corte naturalista efectuadas en el ámbito de la resolución de problemas; investigaciones que se incorporan, en su mayor parte, a una tradición contigua a la de paradigmas duros como los caracte-

rísticos de la Física, de la Inteligencia Artificial, o de ambas (Novak Jr, 1977; Larkin, 1981; Chi et al, 1982; Reif, 1987).

En este tercer estudio, y coherentemente con su intención exploratoria, hemos optado por una metodología más flexible, menos dura que la netamente experimental empleada en los dos primeros y que se aproxima a la típicamente naturalista en la cual no se recurre a la manipulación, ni al tratamiento, sino a la observación efectuada con el mínimo de limitaciones impuestas (Welch, 1983). Así, hemos empleado procedimientos tales como el análisis de protocolos verbales obtenidos mediante la técnica "Thinking aloud" o como los mapas conceptuales elaborados por los alumnos al hilo de la resolución de un problema dado. Tal metodología de corte naturalista nos ha permitido profundizar en las características de los mecanismos de resolución, analizar los procesos de razonamiento, atisbar la influencia de la naturaleza de la representación del conocimiento sobre efectividad en la resolución, explorar relaciones entre el conocimiento declarativo y el procedimental en la resolución de problemas, sin prescindir de una cuantificación básica que no es, en principio, incompatible con la filosofía de este tipo de estrategias de investigación ni con la naturaleza de sus herramientas.

2. Los sujetos

La selección de estudiantes para el presente estudio y las subsiguientes sesiones de observación fueron efectuadas durante el mes de junio de 1987 una vez que el curso académico hubo finalizado. Los alumnos participantes fueron extraídos de los diferentes grupos del C.O.U. del Instituto Experimental-Piloto Cardenal Herrera Oria de Madrid, de acuerdo con los siguientes criterios:

- a) Los alumnos participantes deberían haber demostrado un nivel de conocimiento suficiente; la condición de tener aprobada la asignatura de Física fue, por tanto, un requisito imprescindible.
- b) La selección debería ser equiponderada en lo que respecta a las variables que habían sido hipotéticamente consideradas como relevantes en el Estudio 1, a saber, la DIC y

el tratamiento; por tal motivo se seleccionaron inicialmente el mismo número de sujetos dependientes de campo e independientes de campo para cada uno de los grupos que habían participado en la anterior investigación.

- c) La aceptación debería ser voluntaria por parte del alumno.

La extensión inicial de la muestra resultante, al tomar en consideración el criterio de voluntariedad, fue de 12 sujetos. Dicho número se vio reducido finalmente a 8 debido al hecho de que no todos los protocolos verbales obtenidos pudieron ser aprovechados. Algunos alumnos abandonaron y otros verbalizaron insuficientemente o lo hicieron sobre una parte no representativa del problema, sin avanzar significativamente hacia la solución.

La clasificación de los alumnos componentes de la muestra efectiva en buenos y malos resolventes (**BR** y **MR** respectivamente) se efectuó a la vista de los resultados del análisis de los protocolos verbales y del correspondiente proceso de resolución. Así fueron considerados como *buenos resolventes* únicamente los sujetos que, cuando menos, llegaron a plantear correctamente el problema. Una tal definición de tipo operacional pone el acento en la calidad de la representación que se elabora ante un problema dado y toma en consideración, sólo indirectamente, las aptitudes del sujeto, las cuales se traducen en un comportamiento efectivo sólo relativamente consistente.

3. Los problemas

Los problemas fueron elegidos de tal modo que el procedimiento de resolución hubiera de ser aportado por el resolvente. Aun cuando los esquemas de razonamiento básicos podrían estar disponibles en su base de conocimientos, al haber sido aplicados a otros problemas diferentes, las situaciones planteadas en los enunciados eran en su conjunto nuevas. Se trataba, por tanto, de problemas que requerían pensamiento productivo y que se acomodan a lo que hemos denominado *problemas generales* (ver capítulo 3).

Los cuadros 7.1 y 7.2 muestran los enunciados de los problemas empleados en el presente estudio y, de una forma esquemática, la ruta o rutas de resolución.

CUADRO 7.1.: Enunciado y esquema de resolución del primer problema cuya representación en la memoria de los alumnos fue explorada mediante la técnica "thinking aloud".

ENUNCIADO DEL PROBLEMA N° 1

Una bola de 200 g de masa cuelga de un hilo ideal inextensible de 1 m de longitud. La bola se eleva hasta que el hilo forme un ángulo de 30° con la línea horizontal que pasa por el punto de suspensión del hilo, y desde esta posición se lanza hacia abajo con una velocidad de 2,0 m/s. Determinése la tensión del hilo cuando la bola pasa por el punto más bajo de la trayectoria ($g = 10 \text{ m/s}^2$).

ESQUEMA DE RESOLUCION

$$h_1 = l(1 - \cos \theta)$$

$$Ec_1 + Ep_1 = Ec_2$$

$$\frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 = \frac{mv_2^2}{2}$$

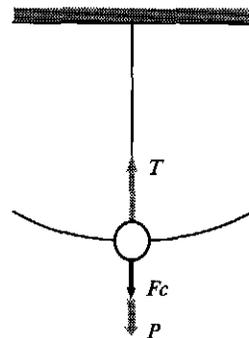
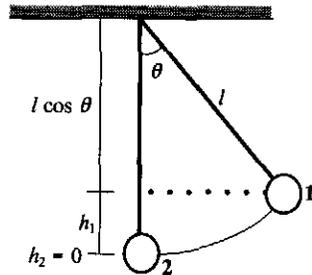
$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + 2gh_1}$$

$$T = Fc + P$$

$$T = \frac{mv_2^2}{l} + mg = m \left(\frac{v_2^2}{l} + g \right)$$

$$T = m \left(\frac{v_1^2 + 2gh_1}{l} + g \right)$$

$$T = \frac{m}{l} [v_1^2 + g(2h_1 + l)]$$



CUADRO 7.2.: Enunciado y esquema de resolución del segundo problema investigado.

ENUNCIADO DEL PROBLEMA N° 2

Un haz de protones puede atravesar las dos placas paralelas de un condensador cargado por medio de sendos orificios uno en cada placa, alineados perpendicularmente a ellas. Las dos placas distan entre sí 1,0 cm y la primera se halla a un potencial electrostático de 10,0 V; cuando uno de los protones del haz pasa por la primera placa, su velocidad es de $4,0 \cdot 10^3$ km/s y dicha velocidad se reduce a la mitad cuando atraviesa la segunda. Determinar el valor del potencial electrostático en esta segunda placa sabiendo que el campo eléctrico dentro del espacio comprendido entre ambas es uniforme y que la masa y la carga de un protón valen $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg y $q_p = 1,60 \cdot 10^{-19}$ C respectivamente.

ESQUEMA DE RESOLUCION

Procedimiento 1:

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2d} = \frac{-3/4 v_1^2}{2d} = \frac{-3v_1^2}{8d}$$

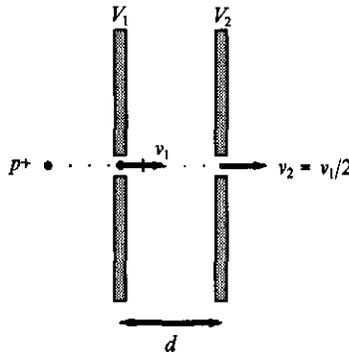
$$F = m_p a$$

$$E = \frac{F}{q_p} = \frac{m_p a}{q_p}$$

$$E = \frac{V_1 - V_2}{d}$$

$$V_2 = V_1 - Ed = V_1 - \frac{m_p a}{q_p} d$$

$$V_2 = V_1 + \frac{3m_p v_1^2}{8q_p}$$



Procedimiento 2:

$$Ec_1 + Ep_2 = Ec_2 + Ep_2$$

$$\frac{1}{2} m_p v_1^2 + V_1 q_p = \frac{1}{2} m_p v_2^2 + V_2 q_p$$

$$V_2 = \frac{m_p v_1^2 + 2V_1 q_p - m_p v_2^2}{2q_p} = V_1 + \frac{m_p (v_1^2 - v_2^2)}{2q_p}$$

$$V_2 = V_1 + \frac{3m_p v_1^2}{8q_p}$$

4. Los procedimientos

4.1. ASPECTOS GENERALES. HIPOTESIS CONDUCTORAS

La resolución de problemas en dominios de contenido semánticamente ricos constituye una tarea intelectual compleja afectada tanto por el conocimiento declarativo del sujeto resolvente como por su conocimiento procedimental. Con el propósito de explorar las posibles relaciones entre la organización del conocimiento del sujeto y la efectividad en la resolución de problemas de Física, hemos recurrido a sendas técnicas de lápiz y papel, a saber, mapas conceptuales y protocolos verbales (Stewart, 1980), que resultan, en principio, apropiadas para captar cada uno de esos dos aspectos antes citados de la organización cognitiva del sujeto. Ello no significa que seamos claramente partidarios de postular una drástica separación entre ambas formas de conocimiento sino, más bien, que consideramos dicha separación como un recurso metodológico que permite fijar preferentemente la atención sobre uno u otro aspecto facilitando, de este modo y en una primera aproximación, el análisis y la discusión de los resultados.

Hashweh (1988), a propósito de las metodologías empleadas en la elucidación de las preconcepciones, distingue en este tipo de investigaciones tres categorías diferentes que se confunden con alguna frecuencia: estudios de tipo descriptivo que tienen por objeto identificar y describir las preconcepciones de los estudiantes; estudios de tipo explicativo que pretenden aportar una explicación a la estabilidad y al cambio conceptuales; y, finalmente, estudios dirigidos a poner a prueba las explicaciones propuestas en las investigaciones del segundo tipo.

De otra parte, en los estudios sobre la resolución de problemas, se suele establecer una distinción entre aquellos de carácter descriptivo y aquellos otros de naturaleza prescriptiva (Heller et al, 1984; Reif, 1980; Scriven, 1980). Los primeros se proponen describir y comprender propiedades o comportamientos interesantes de la mente humana en tanto que procesador de información. Los segundos tienen por objeto diseñar, a partir de una comprensión básica, procesadores de información capaces de realizar de un modo

eficiente diferentes tareas (Reif, 1980). Como han señalado Heller et al (1984) un enfoque prescriptivo es más general que uno descriptivo y aunque en cierta manera el enfoque prescriptivo puede apoyarse en observaciones, deja un margen más amplio a la teorización.

El presente estudio posee un carácter descriptivo y, en alguna medida, explicativo pero, al menos en el estado actual, no es prescriptivo. Hemos pretendido en él identificar algunas características de la organización del conocimiento que permitirían explicar un comportamiento eficaz en la resolución de problemas de Física. El descubrimiento de regularidades en la información observacional disponible constituye, de hecho, un primer nivel de explicación de los resultados empíricos, puesto que los integra y los dota de sentido. Un segundo nivel lo constituye la conexión causal postulada entre ciertas características de la organización del conocimiento y la efectividad en la resolución de problemas. Sin embargo, una tal explicación de más elevado rango no ha sido rigurosamente puesta a prueba mediante un diseño experimental apropiado; en este sentido, nuestra investigación también cae fuera de la última de las categorías propuestas por Hashweh (1988).

En términos generales, la metodología empleada se ha beneficiado de la convergencia de procedimientos "abajo-arriba" y de procedimientos "arriba-abajo". Así, hemos efectuado un análisis previo de carácter general, mapa a mapa y protocolo a protocolo, tras el cual han aparecido algunas conclusiones tempranas y relativamente evidentes. Este primer análisis ha dado lugar a la ideación de algunas hipótesis conductoras de la investigación en un segundo nivel de detalle. Tales hipótesis establecen las características esenciales de la representación efectiva de un problema dado en los siguientes términos:

- a) La representación se construye a lo largo del proceso de resolución.
- b) La representación es específica.
- c) La representación es fluida o flexible

Ello nos ha permitido ponerlas a prueba en análisis posteriores y "contextos diferentes" (declarativo/procedimental) incrementando, de este modo, su validez. Tal proceso de construcción ha

constituido el eje central e integrador en el análisis de una buena parte del material observacional disponible.

Al lado de estos aspectos metodológicos de segundo nivel una hipótesis de orden superior ha venido a ser el telón de fondo de toda la investigación. Tal hipótesis más general ha consistido en admitir, siquiera sea provisionalmente, que:

“las características de resolución de problemas de los alumnos buenos resolventes son básicamente coincidentes con las de los sujetos expertos”.

Dicha hipótesis conecta con un principio teórico que hemos formulado en otro lugar –cuya fundamentación es objeto de una investigación en curso– y que consiste básicamente en admitir que, a partir de un cierto nivel umbral, *“las características esenciales de un aprendizaje científico eficaz son invariantes bajo cambios en la complejidad de la estructura cognitiva del sujeto que aprende, o dicho de otro modo, los procesos de orden cognitivo que controlan un aprendizaje efectivo son básicamente análogos, independientemente de que se apliquen a estructuras conceptuales más o menos elaboradas o complejas”* (López Rupérez, 1989). Esta perspectiva teórica confiere al presente estudio un significado específico.

4.2. EVALUACION DEL CONOCIMIENTO DECLARATIVO: MAPAS CONCEPTUALES

La evaluación de la organización del conocimiento declarativo se ha efectuado a través del análisis de los mapas conceptuales elaborados por los alumnos paralelamente al proceso de resolución de cada problema propuesto. Una tal utilización de los mapas constituye un elemento metodológico novedoso aportado en la presente investigación. Dichos mapas conceptuales –que han resultado en la práctica estar más cercanos de las redes semánticas que de la versión, próxima a la de Novak, utilizada en el Estudio I– constituyen un reflejo más o menos explícito de la representación del universo conceptual del problema en la mente del sujeto.

El hecho de que los comentarios emitidos durante la construcción del mapa hayan quedado registrados en la correspondien-

te cinta ha proporcionado una información adicional sobre el papel que desempeña el mapa en la resolución del problema así como sobre algunas características del proceso de elaboración. Tal circunstancia pone de manifiesto, sobre un ejemplo práctico, como las técnicas de evaluación del conocimiento se sitúan no en polos extremos discretos sino más bien dentro de un espectro continuo declarativo-procedimental (Hashweh, 1988; Driver et al, 1983). Así, técnicas orientadas en principio a captar la organización del conocimiento procedimental, pueden aportar, además, elementos de valoración del conocimiento declarativo. Una circunstancia similar, pero de signo opuesto, ha sido detectada en la elaboración de algunos mapas que han resultado ser un fiel reflejo de la secuencia de inferencias características del proceso de resolución.

4.3. PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS DE LOS MAPAS CONCEPTUALES

La utilización de los mapas conceptuales, como instrumentos para elucidar la estructura cognitiva de los estudiantes, ha dado lugar a una cierta discusión sobre la validez de una valoración cuantitativa y sobre la oportunidad de efectuar, particularmente en tales casos, una valoración cualitativa. Cuando los mapas conceptuales son empleados como instrumento de enseñanza se suele proceder a la aplicación de unas normas detalladas de elaboración jerárquica que pueden inspirar igualmente un procedimiento para su calificación numérica una vez que aquéllos han sido construidos por los alumnos (Novak et al, 1984). Sin embargo, cuando los mapas son elaborados en un contexto de mayor libertad constituyen un reflejo más fiel de las características de organización del conocimiento del sujeto y, por tal motivo, no pueden ser valorados con criterios muy restrictivos, como por ejemplo la existencia de determinados niveles de organización arriba-abajo característicos de los mapas conceptuales tipo Novak (Novak et al, 1984; Stuart, 1985). En tales circunstancias los mapas presentan un carácter idiosincrásico más pronunciado (Stuart, 1985) y la valoración cuantitativa, en el caso

de intentarse, ha de estar inspirada en criterios muy generales, los cuales resultan en la práctica poco diferenciadores.

Sobre la base proporcionada por tales argumentos, en la presente investigación hemos procedido a efectuar sendos tipos de análisis. En el análisis cuantitativo se han tomado en consideración como descriptores de las características del mapa el *número de nodos* del mapa y el *número de lazos* o de uniones entre ellos, distinguiendo, en ambos casos, los que conciernen al marco conceptual de la resolución del problema, aunque sea de forma relativamente remota, y los que están fuera de él. En lo que respecta al cómputo del número de nodos, es preciso señalar que se han considerado como tales tanto los conceptos primarios como los secundarios, es decir, aquellos bien obtenidos por definición o bien introducidos mediante leyes, principios, o teoremas. Aun cuando, por razones meramente topológicas, ambos indicadores no son independientes, en conjunto pueden proporcionar una cierta medida de la densidad y de la adecuación de la estructura cognitiva del sujeto relativa al mundo del problema, o lo que es lo mismo, de la calidad y oportunidad de la representación del enunciado.

Por su parte, el análisis cualitativo ha fijado su atención en cuestiones tales como ¿reproducen los sujetos que fueron sometidos a tratamiento el esquema de elaboración de mapas aprendido? ¿Qué tipo de jerarquización presentan los mapas de los alumnos buenos resolventes? ¿Qué diferencias en cuanto a la naturaleza de los nodos y de sus relaciones existen entre los mapas de los buenos y los de los malos resolventes? ¿Qué papel desempeña la elaboración del mapa en el proceso de resolución?

4.4. EVALUACION DEL CONOCIMIENTO PROCEDIMENTAL: "THINKING ALOUD"

La evaluación del conocimiento procedimental pasa por tener acceso a los procesos de razonamiento o de ideación que se producen en la mente del sujeto cuando éste trabaja en un contexto de utilización del conocimiento. Una de las técnicas más empleadas con este tipo de propósitos (Newell et al, 1972; Greeno, 1978; Atkin, 1978) consiste en plantear a un estudiante o a un experto un problema determinado y pedirle que piense en alta voz, que trate

de expresar verbalmente los procesos de razonamiento que se generan en su mente al hilo de la resolución. Una cinta magnetofónica graba íntegramente, y manteniendo obviamente la secuencia temporal, el discurso del sujeto que constituye el llamado *protocolo verbal*. El contenido del protocolo es posteriormente transcrito y analizado cualitativa y/o cuantitativamente. Con cierta frecuencia la grabación se produce en presencia del investigador que puede intervenir para animar el proceso o incluso para hacer preguntas puntuales sobre su sentido.

En nuestro caso el procedimiento fue aplicado de la siguiente manera. En primer lugar se les dieron a los alumnos participantes las instrucciones precisas planteándoles el sentido de la investigación e insistiendo reiteradamente en que verbalizaran lo más posible. A continuación tuvieron oportunidad de familiarizarse con el manejo de la cinta magnetofónica y más tarde fueron llevados cada uno a una habitación o recinto relativamente aislado y acompañados solamente por los enunciados, el lápiz, el papel y la cinta grabadora. Pretendimos de este modo respetar al máximo las condiciones naturales del proceso evitando toda intervención que pudiera alterarlo. Es sabido que los factores emocionales influyen sobre la efectividad en resolución de problemas (Ronning et al, 1984) y la presencia del profesor hubiera perturbado, en algunos casos de forma notable, el proceso a observar.

Tal opción comporta el riesgo de tener que desechar algunos protocolos por inservibles debido a una escasa verbalización o a abandonos tempranos que podrían evitarse en presencia del profesor pero, habida cuenta de la naturaleza del estudio, en esta ocasión preferimos valorar más la calidad de los protocolos que su número, aun a costa de renunciar deliberadamente a un análisis estadístico estrictamente riguroso. Entre las instrucciones dadas inicialmente a los estudiantes se les pidió que reflejaran en su mapa los conceptos y las relaciones entre ellos que les parecieran relevantes al contexto del problema. A aquella fracción de alumnos que no fueron sometidos al tratamiento, se les explicó someramente en qué consistían este tipo de mapas.

4.5. PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS DE LOS PROTOCOLOS VERBALES

El análisis de los protocolos verbales ha sido efectuado sobre la base de dos elementos claves y complementarios; por una parte, la transcripción mecanográfica íntegra del protocolo y por otra el texto manuscrito por el alumno que recoge el proceso formal de resolución con las ecuaciones, los cálculos y los esquemas gráficos.

En lo que hace referencia a los aspectos metodológicos de más bajo nivel de detalle, un análisis preliminar de los estudios expertos/novatos (ver capítulo 3) nos ha permitido elaborar los criterios que se muestran en el cuadro 7.3. En nuestra investigación, hemos establecido inicialmente una distinción entre un primer análisis de carácter *cualitativo* (A) y un segundo de carácter *cuantitativo* (B), aun cuando en la discusión ambos tipos de resultados aparezcan, con alguna frecuencia, cruzados.

El *análisis cualitativo* se ha estructurado en torno a las tres etapas mayores que son, por lo general, características del proceso de resolución de problemas. En cada una de ellas se recogen comportamientos o procedimientos típicos de los sujetos expertos (ver capítulo 3) siendo su valoración final SI/NO, o 1/0 según el código empleado en la presente investigación.

El *análisis cuantitativo*, por su parte, ha sido orientado hacia la valoración en términos numéricos de diferentes aspectos o manifestaciones del conocimiento procedimental poniendo una atención especial en las inferencias. Las llamadas *reglas de producción* — enunciados que expresan parejas condición-acción del tipo SI ... ENTONCES— son consideradas como los componentes elementales del conocimiento procedimental (Greeno, 1978). Siguiendo a Chi et al (1981) hemos extraído de los protocolos el conjunto de enunciados que pueden ser considerados como inferencias. Hemos omitido en nuestro análisis aquellas inferencias de tipo meramente algebraico que suponían, prácticamente, la lectura de una fórmula sencilla. Posteriormente, hemos efectuado un recuento riguroso cuyos resultados han rellenado las casillas B.5 y B.6 del cuadro 7.3 anteriormente referido. Pero, además, la transcripción de las inferencias nos ha suministrado la base para un análisis cualitativo complementario y relativo a su naturaleza o a la influencia de los errores conceptuales, por ejemplo, en el proceso de resolución.

CUADRO 7.3.: Descripción de los diferentes ítems que han servido de base, a modo de criterios, para el análisis de los protocolos verbales.

A. ANALISIS CUALITATIVO

1. Iniciación

- 1.1. Efectúa un análisis cualitativo.
- 1.2. Demuestra la construcción de algún tipo de representación conceptual del enunciado.
- 1.3. Efectúa algún tipo de representación gráfica del enunciado.

2. Desarrollo

- 2.1. Inicia la resolución partiendo de los datos.
- 2.2. Inicia la resolución partiendo de las incógnitas.
- 2.3. Procede por aproximaciones sucesivas.
- 2.4. Procede definiendo submetas.
- 2.5. Procede por tanteo.
- 2.6. Logra plantear bien el problema.

3. Conclusión

- 3.1. Llega a un resultado correcto.
- 3.2. Se muestra seguro y confiado en su solución.
- 3.3. Efectúa algún tipo de evaluación final.

B. ANALISIS CUANTITATIVO

1. Número de errores conceptuales.
2. Número de errores de tipo algebraico/trigonométrico.
3. Número de ecuaciones generadas en el proceso de resolución (correctas/incorrectas).
4. Número de diagramas generados.
5. Número de inferencias conceptuales o procedimentales (correctas/incorrectas).
6. Número de inferencias que implican algún tipo de representación espacial.

5. Resultados y discusión

5.1. LOS BUENOS RESOLVENTES FRENTE A LOS MALOS RESOLVENTES

5.1.1. El problema de la representación

Como algunos autores han destacado (Sutton, 1980; Pozo, 1987; López Rupérez, 1990) las cuestiones relativas al contenido del pensamiento del estudiante han desplazado, en el panorama de la Educación Científica, al interés por los aspectos formales del razonamiento. La importancia de la representación del conocimiento en la mente de los alumnos es compartida, de hecho, por las más relevantes líneas de investigación en Didáctica de las Ciencias, tales como el movimiento de las concepciones alternativas o el de la resolución de problemas, por ejemplo.

En el ámbito concreto de la resolución de problemas se entiende por representación una estructura cognitiva correspondiente a un problema dado que es construida por el sujeto resolvente sobre su base de conocimiento, relativa a un dominio específico, y de su organización (Chi et al, 1981). La representación de un problema supone una cierta transformación de la información facilitada en el enunciado, expresada mediante un lenguaje natural, en algún tipo de redescrición interna efectiva (López Rupérez, 1987).

En lo que respecta al contexto aún mas restringido de nuestra investigación, la representación del problema constituye el gozne de articulación entre la organización del conocimiento por un lado y la efectividad en la resolución de problemas por otro. Como han señalado con anterioridad Chi et al. (1982) *"la relación entre la estructura de la base de conocimientos y los procesos de resolución debe estar mediada por la calidad de la representación del problema"* (p. 29). Por tal motivo en el presente apartado centraremos inicialmente la discusión en el problema de la representación y volveremos de nuevo sobre él a modo de conclusión.

Un análisis preliminar de nuestros protocolos nos ha permitido vislumbrar algunas hipótesis integradoras que bajo la forma de conclusiones tentativas, en lo que concierne a las características

esenciales de una representación eficaz, se enuncian y describen en forma aseverativa en lo que sigue.

- a) **La representación se construye a lo largo del proceso de resolución.** No se trata de un fenómeno puntual inicial que se produzca de una sola vez sino que constituye un proceso dinámico de construcción ideacional que se extiende a lo largo de una buena parte del proceso de resolución. La representación surge de una interacción entre la base de conocimiento del sujeto resolvente y la información contenida en el enunciado de modo que representaciones parciales se amplían en el proceso hasta alcanzar un punto a partir del cual, el sentido global del problema y las estrategias completas de resolución aparecen con nitidez en la mente del estudiante. Con alguna frecuencia y después de haber efectuado un cierto recorrido "en el buen camino", el estudiante, tras hacer expresas algunas inferencias claves, exclama ¡ya lo tengo! o ¡ya está! Tal comportamiento aparece reflejado en los resultados de los análisis recogidos en las tablas 7.1 y 7.2. Así, de acuerdo con los datos de la tabla 7.1 los **buenos resolventes** parten de un **análisis cualitativo (5/5)** y de una cierta **representación conceptual**, por lo general poco precisa aunque **acertada, del enunciado (5/5)**. Tras esa fase inicial abordan la resolución definiendo **submetas (5/5)** lo cual, más que como el resultado de una estrategia deliberada (Wickelgren, 1974 cap. 6; López Rupérez, 1987, pág. 138), viene a ser un recurso para consolidar una representación parcial, que les abre, efectivamente, el camino hacia otra representación posterior más completa.

El hecho de que sólo 2 sobre 5 de los buenos resolventes, aparezcan como habiendo utilizado el procedimiento de las aproximaciones sucesivas hay que interpretarlo más bien como el resultado de la aplicación de un criterio bastante restrictivo por parte del corrector en relación con la existencia de diversos y sucesivos refinamientos; pero de hecho, en un sentido amplio y de acuerdo con lo anteriormente descrito, todos los buenos resolventes proceden mejorando progresivamente la calidad de su repre-

TABLA 7.1.: Resultados del análisis de los protocolos verbales correspondientes a ocho sujetos y relativos a la resolución del problema número 1 (ver cuadro 7.1). Los datos correspondiente a los *buenos* resolventes se han separado de los correspondientes a los *malos* resolventes mediante un espacio central.

SUJETO	LG	MR	AS	RA	GG	MA	HR	CH
1.1. Efectúa un análisis cualitativo	1	1	1	1	1	0	0	0
1.2. Desmuestra alguna representación conceptual del enunciado	1	1	1	1	1	0	0	0
1.3. Efectúa alguna representación gráfica del enunciado	1	1	1	1	1	1	1	1
2.1. Inicia la resolución partiendo de los datos	1	1	1	1	1	1	1	1
2.2. Inicia la resolución partiendo de las incógnitas	0	0	0	0	0	0	0	0
2.3. Procede por aproximaciones sucesivas	0	0	1	0	1	0	0	0
2.4. Procede definiendo submetas	1	1	1	1	1	1	0	0
2.5. Procede por tanteo	0	0	0	0	0	0	1	1
2.6. Logra plantear bien el problema	1	1	1	1	1	0	0	0
3.1. Llega a un resultado correcto	0	1	1	0	0	0	0	0
3.2. Se muestra seguro y confiado	1	1	1	1	0	0	0	0
3.3. Efectúa algún tipo de evaluación final	0	1	1	0	1	0	1	0
1. Número de errores conceptuales	1	0	0	0	0	1	2	0
2. Número de errores de tipo algebraico/trigonométrico	1	0	0	2	1	0	1	1
3. Número de ecuaciones generadas (correctas/incorrectas)	4/1	3/0	5/0	6/1	4/1	6/1	2/1	4/1
4. Número de diagramas generados (correctos/incorrectos)	2/0	1/0	2/0	1/1	1/0	1/0	0/1	0/2
5. Número de inferencias (correctas/incorrectas)	5/1	4/0	3/2	4/0	5/1	3/0	1/2	1/1
6. Número de inferencias que implican representación espacial	3	2	3	2	3	1	1	0

sentación. Por contra los malos resolventes elaboran, por lo general, una representación o conjunto de representaciones erráticas que se traducen en el recurso a procedimientos de tanteo o de "ensayo y error" (2/3). Los datos recogidos en la tabla 7.2 y referidos al problema nº 2 no hacen más que confirmar, en términos generales, la validez del anterior análisis.

- b) **La representación es específica.** En este contexto consideramos la especificidad como un atributo de la representación que hace posible el ajuste de la organización cognitiva del sujeto a un enunciado o a una situación problemática dada. Con frecuencia los malos resolventes presentan un conocimiento conceptual que, en sus aspectos generales, es análogo al de los malos resolventes; las diferencias se plantean, sin embargo, en lo que podríamos denominar la *estructura fina* del conocimiento, la cual viene determinada por el nivel de diferenciación conceptual, por la precisión en el significado de los conceptos y de sus relaciones, o por la cantidad y la calidad de los atributos característicos del concepto.

Un ejemplo que puede ilustrar el tipo de apoyos observacionales en los que se basa la anterior afirmación lo constituye la forma en la que los buenos y los malos resolventes aportan la segunda ley de Newton de la dinámica a la resolución del problema número 1.

Así, en el protocolo verbal del estudiante **MA** leemos:

"... he hallado la aceleración y me da 10 m/s^2 ... la tensión es una fuerza, masa por aceleración, y la única aceleración que encuentro es ésta, que es la misma que la de la gravedad ... luego entonces la tensión es $T = ma$ ".

En el protocolo verbal el estudiante **HR** dice lo siguiente:

"... tengo la masa y también la aceleración y la segunda ley de Newton me dice que $F = ma$; pero yo se que esta ley se puede utilizar para todos los sistemas haciendo las consiguientes restricciones; en este

caso la restricción es la tensión... Claro y la fuerza que actúa aquí es el peso, porque no se nos dice que actúe ninguna fuerza más, así pues la tensión predomina sobre el peso para que el cuerpo no se caiga, y sale la ecuación $T - P = ma$ ".

Finalmente en el protocolo del estudiante **GG** se lee:

"... Como hay movimiento curvilíneo tiene que haber una fuerza centrífuga o centripeta; la aceleración normal va hacia el centro y entonces, la fuerza centrífuga va hacia afuera..... Tenemos entonces la tensión de la cuerda, una aceleración hacia dentro; ¡claro, ya lo tengo!, la tensión es igual al peso más la fuerza centrífuga".

Cuando se analizan comparativamente estos tres pasajes de los correspondientes protocolos verbales se observa que los tres estudiantes conocen la segunda ley de Newton y saben, en términos generales, a qué tipos de problemas debe aplicarse. Sin embargo, el estudiante **MA** ignora en su análisis dinámico la fuerza del peso y la naturaleza de la aceleración a considerar en el problema; el estudiante **HR**, en la ecuación $F = ma$, toma correctamente en consideración la F como resultante de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo, pero no repara en el hecho de que la aceleración es una aceleración normal asociada a un movimiento curvilíneo y utiliza en su lugar una aceleración lineal.

Por contra, el análisis del protocolo del estudiante **GG** indica que no sólo conoce la segunda ley, sino que es capaz de aplicarla en condiciones estáticas haciendo intervenir fuerzas de inercia asociadas a aceleraciones normales; es decir, en el proceso de representación evoca implícitamente la segunda ley aportando a la resolución, junto con ella, sus atributos o si se quiere las reglas de uso pertinentes a la situación planteada en el enunciado. Comparando los protocolos se observa que la coherencia de la re-

presentación, y por supuesto su eficacia, aumenta en el sentido en el que aumenta su especificidad.

A partir del análisis del comportamiento en problemas de Mecánica algunos investigadores en resolución de problemas (McDermott et al, 1978, Chi et al, 1981) han planteado una distinción entre una representación establecida sobre la base de estructuras superficiales, tales como objetos referidos en el problema, términos mencionados en el enunciado o configuraciones descritas en él, y una representación profunda, definida por los grandes principios físicos que subyacen en el proceso de resolución. La idea de *niveles de representación* ha sido, asimismo, manejada en un contexto más general propio tanto de la Psicología Cognitiva (Rivière, 1985) como de la inteligencia artificial (López Mántaras, 1989). La profundidad de las representaciones se define según Rivière *"por el grado en que aíslan de otros contenidos los significados pertinentes para la inferencia que se busca"*; es pues una propiedad de las representaciones directamente relacionada con la abstracción. López Mántaras (1989) citando a Seels (1988) define el conocimiento profundo como el *"formado por tareas, métodos de resolución, modelos del dominio e información heurística, ya que representa explícita y separadamente tanto los conocimientos teóricos como los prácticos contrariamente a la representación superficial"* (p. 3). El propio Seels (1988) precisa la distinción entre el conocimiento profundo y el superficial refiriéndola *"no a los patrones de inferencia sino a los modelos del dominio subyacentes a la expertez. El conocimiento profundo hace explícitos los modelos del dominio y el cálculo de inferencias que opera sobre esos modelos... y puede tomar la forma de un conjunto de axiomas que prescriben inferencias válidas sobre una red causal"* (p. 6). Nuestra noción de *especificidad* resultaría de la conjunción de dos propiedades de ciertas representaciones profundas, a saber, su riqueza semántica por una parte, que estaría determinada por el grado de finura de la estructura cognitiva del sujeto, y su adecuación o ajuste al mundo del problema por otra.

- c) **La representación es fluida.** El hecho de que la representación se construya durante el proceso de resolución avala la hipótesis mantenida por diferentes investigadores (Sutton, 1980; Brumby, 1983) de una estructura cognitiva de carácter dinámico. La noción de fluidez añade a la de movilidad la idea de plasticidad, esto es, de capacidad de adaptación a circunstancias o a “continentes” diversos. Es en este sentido que nos parece que la representación efectiva de un problema es fluida.
 La figura 7.1 muestra el mapa conceptual correspondiente al estudiante MR, uno de los mejores resolventes del

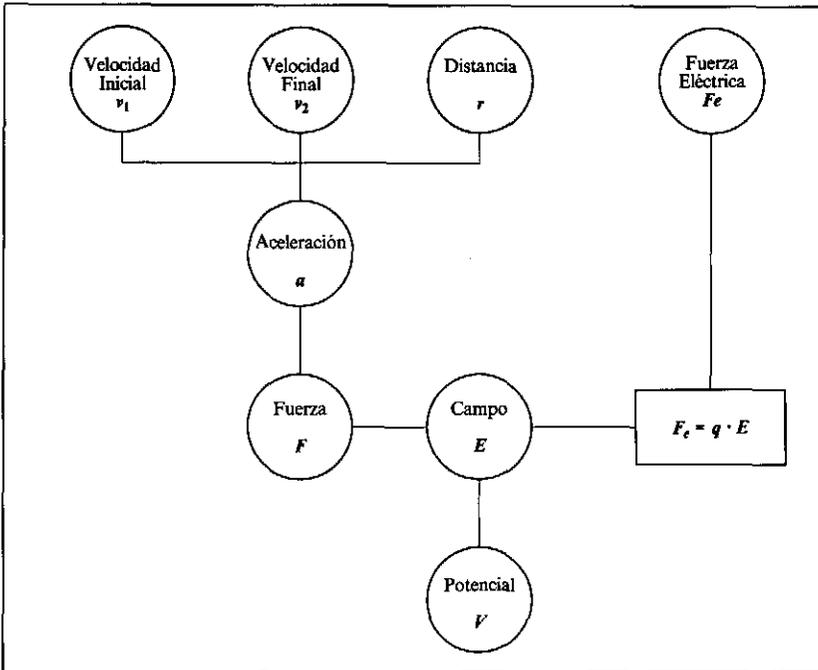


FIGURA 7.1: Mapa conceptual elaborado por el estudiante MR (buen resolvente) al hilo del proceso de resolución del problema número 2. Se trata de una estructura conceptual específica respecto del mundo del problema que contiene, por lo tanto, todos los elementos clave para su resolución, en términos de datos, incógnitas y variables intermedias convenientemente relacionadas. Pero, además, su organización arriba-abajo refleja, en buena medida, el procedimiento de resolución.

grupo, elaborado por el propio estudiante al hilo del proceso de resolución del problema nº 2. Cuando se analiza dicho mapa y se compara con el elaborado por él mismo para el tema del Campo Eléctrico –como consecuencia del tratamiento efectuado en el marco del Estudio I (capítulo 5)– se observa cómo en este último aparecen reflejados todos los elementos clave de la teoría de campos necesarios para resolver el problema, pero con un nivel de detalle inferior. En el mapa que se muestra en la fig. 7.1 tales conceptos aparecen como desgajados de esa macroestructura conceptual e incorporados a otra que es más específica o característica del mundo del problema y que constituye un reflejo de su representación final en la memoria del alumno. Ha habido, por tanto, una reorganización cognitiva acompañada de una acomodación a las exigencias del problema y dicha operación ha quedado reflejada en los mapas conceptuales correspondientes.

Llegados a este punto interesa destacar el hecho de que esa imagen del conocimiento como un fluido, tiene entre otras, la limitación de la especificidad de la representación antes señalada. Un fluido físico adopta la forma del recipiente sin imponer éste más restricciones, al menos en un dominio macroscópico. Sin embargo, la imagen que para el proceso de representación emerge de todo lo anterior se aproxima más a un modelo en el que el conocimiento aporta una cierta fluidez y el problema exige, además, la especificidad. En un contexto razonablemente abierto, sólo una representación que sea a la vez suficientemente fluida y específica será eficaz.

Dichas propiedades nos recuerdan, en el mundo biofísico, las características de la interacción entre una droga y su correspondiente receptor (López Rupérez et al, 1984). Una tal interacción está condicionada por exigencias de tipo estructural de un modo similar a lo que sucede con el acoplamiento entre una cerradura y su llave correspondiente. Una pequeña variación en el perfil de la llave es suficiente como para que ésta sea capaz de abrir o no una cerradura dada. Tal condición de complementareidad entre la estructura molecular del fármaco, o de una parte de él, y la del correspondiente sitio receptor en la membrana celular está ligeramen-

te atemperada por la flexibilidad de la molécula del fármaco capaz, con frecuencia, de adoptar distintas conformaciones no muy diferentes entre sí desde un punto de vista energético. Flexibilidad y especificidad son, por lo tanto, desde un punto de vista molecular, propiedades claves del fármaco y constituyen, asimismo aunque en otro orden de cosas, atributos exigibles a nuestro conocimiento para conseguir de él una representación efectiva ante un problema dado.

5.1.2. Diferencias en cuanto al conocimiento declarativo

Los resultados de la valoración de los mapas conceptuales elaborados por los alumnos durante la resolución de cada problema aparecen recogidos en las tablas 7.3 y 7.4. En ellas se establece una clasificación, tanto para nodos como para uniones, en **pertinentes**, **no pertinentes** y **próximos** con respecto a la resolución del problema en cuestión. En un primer análisis global de los diferentes mapas conceptuales se pusieron de manifiesto importantes dife-

TABLA 7.3.: Datos correspondientes al análisis cuantitativo del mapa conceptual correspondiente al *problema número 1*. La variable *BR/MR* corresponde al carácter de buen resolvente (1)/mal resolvente (0) del sujeto en relación con el problema considerado.

Sujeto	BR/MR	Nº de nodos			Nº de uniones		
		Pertinentes	No pertinentes	Próximos	Pertinentes	No pertinentes	Próximos
LG	1	12	0	11	14	0	10
AS	1	10	0	10	9	1	9
MR	1	10	0	10	9	0	9
CG	1	10	0	10	12	0	12
RA	1	7	0	7	6	0	6
MA	0	8	4	4	6	5	5
HR	0	8	0	5	7	0	4
CH	0	8	0	8	7	0	7

TABLA 7.4.: Datos correspondientes al análisis cuantitativo del mapa conceptual correspondiente al problema número 2. La variable BR/MR corresponde al carácter de buen resolvente (1)/mal resolvente (0) del sujeto en relación con el problema considerado.

Sujeto	BR/MR	N° de nodos			N° de enlaces		
		Pertinentes	No pertinentes	Próximos	Pertinentes	No pertinentes	Próximos
MR	1	9	0	9	8	0	8
AS	1	5	3	5	4	3	4
RC	1	4	0	4	4	0	4
GG	1	7	1	6	6	4	5
RA	1	5	0	5	4	0	4
MA	0	6	2	5	8	0	5
HR	0	7	0	7	7	0	7
CH	0	5	0	5	3	3	3

rencias entre unos y otros que hacían referencia, básicamente, a dos cuestiones; en primer lugar algunos alumnos incluían en el mapa conceptos que no eran pertinentes en la resolución del problema pero que conseguían relacionar con otros que sí que lo eran; en segundo lugar, había mapas que reflejaban un repertorio conceptual muy próximo al mundo del problema mientras que otros incluían, además, conceptos más remotamente relacionados. Tales diferencias justifican los criterios de valoración cuantitativa de los mapas conceptuales que aparecen reflejados en las cabeceras de las dichas tablas.

Del **análisis cuantitativo** de los datos correspondientes al problema de Mecánica (tabla 7.3) parece deducirse que los buenos resolventes disponen de una estructura cognitiva algo más densa y rica en relaciones que los malos resolventes. Tales diferencias se acentúan cuando se fija la atención en el contexto conceptual más próximo al mundo del problema; entonces las relaciones numéricas entre uno y otro grupo alcanzan, prácticamente, la proporción de 2 a 1. Los datos que corresponden al problema de Campo Eléctrico (tabla 7.4) no reflejan en absoluto una diferencia tan sistemáti-

ca. Una tal circunstancia podría atribuirse al hecho de que la resolución del problema supone la articulación de dos dominios conceptuales diferentes, el de la Mecánica por una parte, y el del Campo Eléctrico por otra, lo que lleva consigo una mayor facilidad por parte de los malos resolventes para aumentar el número de nodos y de uniones correspondientes sin más que descender a un cierto nivel de detalle en cualquiera de los dos ámbitos correspondientes. Esta explicación se apoya en los resultados del **análisis cualitativo** que presentamos en lo que sigue y que pueden concretarse en los siguientes términos:

- a) Los buenos resolventes tienden a efectuar mapas relativamente compactos incluyendo lo estrictamente necesario, por contra los malos resolventes suelen detenerse más en aspectos puntuales de las relaciones entre conceptos que se dan, no obstante, por supuestos en los mapas de los buenos resolventes.
- b) Con cierta frecuencia los malos resolventes recogen en su mapa un sistema de conceptos, en principio, útil para la resolución del problema y establecen entre ellos relaciones correctas que, sin embargo, son incapaces de explotar en beneficio de la resolución. La figura 7.2 recoge, a modo de ejemplo, el mapa elaborado por el estudiante CH (mal resolvente) y correspondiente al problema nº 1. Dicho mapa refleja una estructura conceptual de tipo general perfectamente correcta pero oculta notables deficiencias en lo que respecta a la riqueza semántica de sus componentes.
- c) Aun cuando tanto en los malos como en los buenos resolventes aparece una cierta (no excesiva) tendencia a la jerarquización conceptual, en el sentido de situar arriba conceptos relativamente generales o primitivos y debajo conceptos derivados de ellos por definición o conectados con los anteriores por efecto de una ley, un principio o un teorema, no puede deducirse con claridad que se trate de un reflejo de la organización de su estructura cognitiva; tal modo de organizar el mapa es sin duda, en parte, un subproducto del tratamiento ya que en ninguno de los sujetos que no fueron sometidos al tratamiento aparece

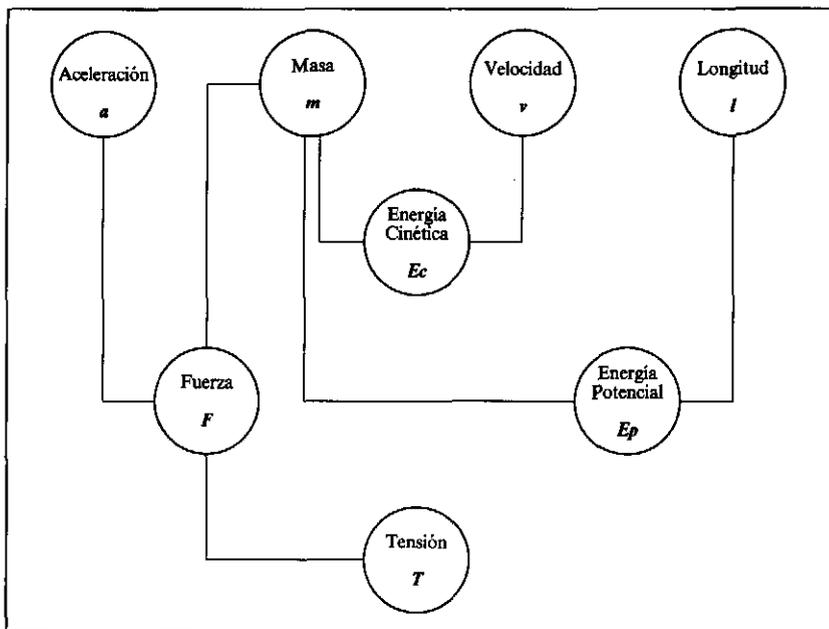


FIGURA 7.2.: Mapa conceptual elaborado por el estudiante *CH* (mal resolvente) al hilo del proceso de resolución del problema número 1. Como puede apreciarse dicho mapa refleja una estructura conceptual de tipo general perfectamente correcta pero sus diferencias, sin embargo, hay que buscarlas en la estructura fina de dicho sistema conceptual que revela una representación no suficientemente específica.

un tipo de estructura conceptual así jerarquizada. En el caso de los buenos resolventes no sometidos a tratamiento parece como si el mapa partiera y se organizara en torno a los grandes principios, tales como la segunda ley de Newton y el teorema de conservación de la energía mecánica en el primer problema, por ejemplo. Por contra, los buenos resolventes que sí fueron sometidos al tratamiento conjugan, en cierto modo, ese estilo de organización jerárquica con el reflejo en ella del procedimiento de resolución.

A modo de ejemplo, desde luego no único, puede considerarse el mapa del alumno *MR* representado en la figura 7.3. En primer lugar se advierte una cierta jerarquía

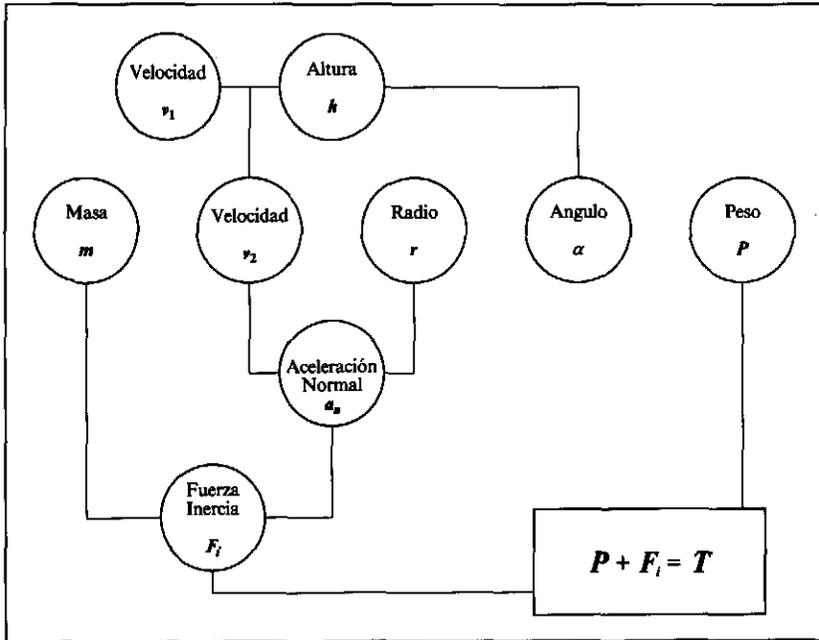


FIGURA 7.3.: Mapa conceptual elaborado por el estudiante MR (buen resolvente) al hilo del proceso de resolución del problema número 1. En él se advierten, si cabe con más claridad que en el mapa de la figura 7.1, las dos características ya citadas, a saber, la especificidad de la representación y el reflejo de la secuencia de inferencias que guió el proceso de resolución.

arriba-abajo, de modo que los conceptos o las relaciones de orden superior tienden a situarse en la parte inferior del mapa. Peño, además, expresa el proceso seguido partiendo de los datos —que en este caso son magnitudes asociadas a conceptos relativamente primarios como, la velocidad inicial, el ángulo o la masa— y concluyendo en la tensión que es la incógnita del problema. Así, a partir del ángulo α obtiene la altura h ; de la altura y de la velocidad inicial v_1 obtiene la velocidad v_2 en el punto más bajo mediante la aplicación del teorema de conservación de la energía mecánica. Empleando la v_2 y el valor del radio de la trayectoria, obtiene la aceleración normal a_n que junto con la masa le permite calcular la fuerza de

inercia F_i . A partir de F_i y del peso P termina calculando la tensión T del hilo en el punto más bajo.

- d) De los comentarios de los alumnos recogidos en los protocolos sobre el papel del mapa en el proceso de resolución no parece deducirse, en ningún caso, que dicha tarea haya ayudado a encontrar la solución, a pesar de las importantes expectativas respecto de dicha herramienta que manifestaron los estudiantes sometidos a tratamiento, tal y como quedó reflejado en sus expresiones verbales. Resulta muy frecuente en los malos resolventes el recurrir al mapa para aclarar sus ideas pero ninguna luz se les abre a continuación. Los buenos resolventes, sin embargo, lo utilizan con frecuencia como un medio para consolidar un hallazgo o el descubrimiento de una relación que incorporan posteriormente al mapa conceptual.

5.1.3. Diferencias en cuanto al conocimiento procedimental

Con el objeto de evitar reiteraciones innecesarias en la discusión y en sus conclusiones, centraremos nuestra atención, en el presente apartado, en el análisis e interpretación de los resultados recogidos en la parte B (análisis cuantitativo) de las tablas 7.1 y 7.2, apoyándonos siempre que sea necesario, tanto en la información genérica que se deriva de la lectura de los protocolos como en esa más precisa y sistematizada, relativa a las características de las inferencias o reglas de producción, que aparece reflejada en los cuadros 7.4 y 7.5.

Del análisis de la información correspondiente parecen desprenderse los siguientes resultados:

- a) **Los buenos resolventes tienden a cometer un número algo menor de errores conceptuales que los malos, comportándose de forma parecida en lo que respecta a los errores de tipo algebraico.** Tal diferencia, que no es en absoluto apreciable en términos cuantitativos, oculta, sin embargo, otra cualitativamente importante entre buenos y malos resolventes que se hace patente en el análisis de los protocolos y que concierne al papel que desempeñan los errores en el

CUADRO 7.4: enunciados considerados como inferencias y presentados según el orden de aparición en los protocolos verbales correspondientes al *problema número 1*. La variable *BR/MR* se refiere al carácter de buen resolvente (1)/mal resolvente (0) del sujeto correspondiente. Los índices subrayados indican la existencia de algún error conceptual.

Sujeto	BR/MR	Inferencia
LG	1	<ol style="list-style-type: none"> <u>1.</u> Cuando la bola pase por el punto más bajo su peso será menor. 2. Dadas las características del problema podrá resolverse por energías. 3. Dado que la energía potencial depende de la altura habrá que basarse en el ángulo. 4. Puesto que es un movimiento curvilíneo existirá una fuerza centrífuga. 5. Puesto que existe una fuerza centrífuga el cuerpo va a pesar más de lo que pesaría si estuviera quieto. 6. Puesto que existe fuerza centrífuga el peso más la fuerza centrífuga dirigidos hacia abajo se opondrán a la tensión que va hacia arriba.
AS	1	<ol style="list-style-type: none"> <u>1.</u> Si se aísla el cuerpo problema las fuerzas que actúan sobre él son el peso y la tensión que soporta la cuerda que es contraria a él. 2. Dadas las características del problema el peso y la fuerza centrífuga tiran de la bola hacia abajo y es la tensión la que se opone a estas dos fuerzas. <u>3.</u> Dadas las características del problema la velocidad en el punto más bajo depende de la aceleración que en este caso es la de la gravedad. 4. Dadas las características del problema, la velocidad se puede obtener aplicando el teorema de conservación de la energía. 5. Puesto que hay que calcular la altura inicial emplearemos la longitud de la cuerda y el ángulo.
MR	1	<ol style="list-style-type: none"> <u>1.</u> Dadas las características del problema la tensión en el punto más bajo tendrá que ser la suma del peso más la fuerza con la que cae. 2. Dadas las características del movimiento en el momento que baja tiene una aceleración normal.

CUADRO 7.4. (continuación)

Categoría	Nivel	Indicadores
		<ol style="list-style-type: none"> 3. Puesto que se trata de un sistema mecánico se deberá aplicar la conservación de la energía para calcular la velocidad en el punto más bajo. 4. Si en el punto más bajo el cuerpo no se cae la tensión tiene que ser igual a la fuerza de inercia producida por una aceleración normal más la fuerza del peso.
GG	1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cuando la bola se encuentra perpendicular al suelo la tensión está relacionada con el peso y es de dirección contraria a éste. 2. Dadas las características del problema peso y tensión se relacionan con la aceleración mediante la ley de Newton. 3. Puesto que se trata de un movimiento circular la velocidad final se halla por caída libre. 4. Puesto que se trata de un sistema mecánico se puede aplicar la conservación de la energía. 5. Dado que hay que calcular alturas tengo que recurrir al seno del ángulo. 6. Puesto que la trayectoria es una porción de circunferencia habrá una fuerza centrífuga o centripeta. 7. Dadas las características del problema la tensión en el punto más bajo es igual al peso más la fuerza centrífuga.
RA	1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dadas las características del problema la energía mecánica total se conserva. 2. Cuando la bola pase por el punto más bajo entonces la tensión en esa posición será exactamente igual al peso de la bola más la fuerza centrífuga. 3. Puesto que se necesita la fuerza centrífuga vamos a halla la velocidad final aplicando la conservación de la energía mecánica. 4. Dado que la energía potencial depende de la altura habrá que basarse en los ángulos.
MA	0	<ol style="list-style-type: none"> 1. Puesto que se trata de un sistema mecánico se podrá aplicar la conservación de la energía.

CUADRO 7.4. (continuación)

Sujeto	BR/MR	Inferencia
		<ol style="list-style-type: none"> 2. Dadas las características del problema el peso en el punto más bajo no puede ser igual a la tensión. 3. Dado que la energía potencial depende de la altura habrá que basarse en ángulos.
HR	0	<ol style="list-style-type: none"> <u>1.</u> Dado que las tensiones son fuerzas interiores no contribuyen al movimiento; sólo el peso contribuye. <u>2.</u> Si se tiene la velocidad se puede calcular el espacio recorrido. 3. Si el problema es de tensiones entonces lo primero es hallar la aceleración. 4. Teniendo la aceleración se puede hallar la tensión.
CH	0	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dadas las características del problema la energía mecánica se conserva. <u>2.</u> Dado que la trayectoria es una circunferencia habrá una fuerza opuesta al peso, es la tensión o la fuerza centrífuga.

CUADRO 7.5.: Enunciados considerados como inferencias y presentados según el orden de aparición en los protocolos verbales correspondientes al *problema número 2*. La variable *BR/MR* se refiere al carácter de buen resolvente (1)/mal resolvente (0) del sujeto correspondiente. Los índices subrayados indican la existencia de algún error conceptual.

Sujeto	BR/MR	Inferencia
MR	1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si la velocidad de los protones se reduce a la mitad entonces es que hay una fuerza que está actuando en contra. 2. Dado que se puede calcular la aceleración entonces a partir de aquí es posible calcular la fuerza electrostática. 3. Conocida la fuerza electrostática se puede calcular el campo dividiendo por la carga. 4. Puesto que se trata de un campo homogéneo el campo es igual al incremento del potencial partido por la distancia.

CUADRO 7.5. (continuación)

Categoría	DR/VR	Inferencia
		5. Si el campo es menos el incremento de potencial partido por la distancia entonces la aceleración tiene que llevar un signo menos.
AS	1	1. Dadas las características del problema hay que encontrar alguna relación entre las velocidades y los potenciales para la primera posición y para la segunda, algo así como la conservación de la energía total. 2. Dado que puedo calcular el trabajo interior como la variación de la energía cinética igualando a la variación del potencial partido por la carga puedo despejar el potencial en la segunda placa. 3. Dado que la fuerza es masa por aceleración calculando la aceleración tenemos la fuerza electrostática. 4. Dado que la fuerza electrostática es igual al campo por la carga y como la diferencia de potencial es menos el campo por la distancia puedo despejar el potencial.
RC	1	1. Dado que la partícula al atravesar el espacio entre las dos placas se frena entonces es que hay una fuerza electrostática que está actuando en sentido contrario. 2. A partir de la velocidad en el punto inicial, la velocidad en el punto final y la distancia entre ambas se puede calcular la aceleración. 3. Dadas las características del problema el trabajo exterior será igual en este caso a la variación de energía cinética. 4. Puesto que el trabajo exterior es negativo tiene que ser el trabajo interior positivo, realizado por las fuerzas del campo. 5. Dado que el trabajo interior es igual a menos la carga por la variación del potencial igualando ambos podemos calcular el potencial en la segunda placa.
GG	1	1. Dado que se trata de un condensador las líneas de fuerza son paralelas. 2. Como la fuerza es conservativa puedo aplicar el teorema de conservación de la energía.

CUADRO 7.5. (continuación)

Sujeto	BK/VR	Inferencia
		<ol style="list-style-type: none"> 3. Dada que la energía potencial es igual al potencial por la carga puedo sustituir y despejar el potencial en la segunda placa. 4. Sabiendo la aceleración entonces puedo calcular la fuerza total sobre la partícula. 5. Sabiendo las velocidades y las distancias puedo calcular la aceleración. 6. Puesto que el signo es negativo la fuerza será repulsiva. 7. Dado que la fuerza es constante el trabajo es igual a la fuerza total por la distancia. 8. Dado que el trabajo es igual a menos la variación de la energía potencial puedo igualarlo a lo anterior y despejar el potencial en la segunda placa.
RA	1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dado que la variación de energía potencial es igual al incremento de energía cinética se puede calcular aquella a partir de las velocidades y de las masas. 2. Dado que el potencial es la energía potencial partido por la carga dividiendo por la carga se tiene el incremento de potencial que va a ser el potencial en la segunda carga.
MA	0	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dado que la carga que atraviesa el condensador sale con menor velocidad el campo va en sentido contrario. 2. Dado que el campo le resta velocidad y por tanto energía al protón se podrá razonar en términos de energías. 3. Dadas las características del problema hay una cierta cantidad de energía que se pierde en el medio. 4. Si el campo es uniforme eso significa que la fuerza es constante. 5. Si se tiene la distancia y la diferencia de potencial no es necesario conocer el campo. 6. Si prescindimos de lo que ocurre dentro del condensador la energía cinética más la energía potencial a un lado será igual que al otro y no necesario para nada la distancia.

CUADRO 7.5. (continuación)

Sujeto	ID/IDE	Información
HR	0	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si el campo es uniforme entonces la fuerza es constante. 2. Si la fuerza es constante entonces la aceleración es constante. 3. Si la fuerza es constante entonces la velocidad tendrá que ser constante. 4. Dado que tengo la aceleración y la masa puedo calcular la fuerza. 5. Conociendo la fuerza y la carga puedo calcular el campo.
CH	0	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dado que conozco el potencial en la primera placa puedo hallar el campo en la primera placa. 2. Dadas las características del problema debe haber una relación entre la velocidad primera y el potencial primero y la velocidad segunda y el potencial segundo. 3. Si la velocidad se reduce a la mitad entonces es que la fuerza es repulsiva.

proceso de resolución. La cuestión que se plantea entonces es la siguiente: ¿mediante qué mecanismos los buenos resolventes son capaces de obviar los efectos indeseables de los errores, ya sean conceptuales, ya sean procedimentales en el proceso de avance hacia la solución?

En lo que concierne a errores conceptuales se observa en los buenos resolventes cómo, aún a pesar de estar en algunos casos presente este tipo de errores en un estadio inicial de la representación, se salvan o desaparecen en una etapa posterior; parece como si fueran espontáneamente desplazados, siquiera sea temporalmente, por el rigor de una representación más profunda y, por lo tanto, más ajustada, a la cual no son capaces de llegar los malos resolventes. Así, por ejemplo, el protocolo de la estudiante buen resolvente LG, correspondiente al problema nº 1, se inicia con el siguiente razonamiento:

“Si la bola se lanza, lleva una velocidad; cuando pasa por el punto más bajo, como está en movimiento, el peso no será el peso de la bola, sino que será menor, porque algo del peso se irá hacia adelante”.

Afloran aquí preconcepciones perfectamente identificadas en la literatura como la consistente en admitir que todo movimiento lleva consigo una fuerza actuando en la misma dirección (Di Sessa, 1982; White, 1983). Tal preconcepción se traduce en una inferencia errónea *“el peso no será el peso de la bola sino que será menor”*. Cuando se sigue leyendo dicho protocolo verbal no se encuentra ninguna rectificación explícita sino que la validez de esta imagen inicial se desvanece en la mente del sujeto a medida que avanza en la construcción de la representación.

Por el contrario, en la resolución del problema nº 2 la estudiante mal resolvente MA al intentar aplicar el esquema, en este caso pertinente, de la conservación de la energía total introduce un error conceptual clave que se manifiesta en la afirmación *“hay una cierta cantidad de energía que se pierde entre las placas”*. La disminución de la energía cinética de la partícula es considerada erróneamente por MA como una pérdida de energía total (suma de cinética y potencial) y ese error conceptual, que no es oportunamente corregido, atrapa al sujeto en un conjunto de razonamientos posteriores viciados del que es incapaz de salir.

Si se analizan los cuadros 7.4 y 7.5 se advierte que, al igual que en el caso anterior, inferencias erróneas debidas a errores conceptuales o a preconcepciones no impiden a los buenos resolventes el progresar hacia la solución. Parece entonces deducirse de lo anterior que es la naturaleza o propiedades de esa malla de significados, que es capaz de entretejer el buen resolvente, lo que le permite marginar de una forma espontánea los elementos que no se ajustan o se acomodan bien en ella. Tal circunstancia constituye una cierta validación de la hipótesis anteriormente formulada y relativa a la fluidez o flexibilidad del

conocimiento como una característica esencial de las representaciones eficaces.

En un sentido semejante pueden interpretarse los recursos que ponen en funcionamiento los buenos resolventes para salvar los errores procedimentales. Del análisis de los protocolos se deduce, con toda claridad, cómo los buenos resolventes efectúan tareas autocorrectivas cuya consciencia se hace, en este caso, explícita en la verbalización del proceso; ello les permite eliminar los errores algebraicos —o incluso aquellos de tipo conceptual que tienen una traducción inmediata en una fórmula o ecuación—, por lo general, no mucho después de que se hayan producido. Los buenos resolventes someten a prueba cada avance relativamente importante hacia la solución y es de este modo que consiguen salvar los errores procedimentales e incluso algunos de tipo conceptual.

Junto con la capacidad para abandonar concepciones o estrategias que no se acomodan bien en una representación progresivamente más amplia y precisa, ese poder de autocorrección constituye otra de las notas características de las representaciones fluidas.

- b) **Los buenos resolventes generan un número de ecuaciones correctas que es sólo algo superior al de los malos resolventes; sin embargo, las diferencias en cuanto al número de inferencias se ven claramente acentuadas** (comparar apartados 3 y 5 de cada una de las tablas 7.1 y 7.2). Este resultado, que se deriva del análisis de los protocolos, es consistente con el descrito en el apartado b) del epígrafe anterior y efectuado sobre la base que proporcionan los mapas conceptuales. Parece, en efecto, que desde un punto de vista general o superficial no existen grandes diferencias en la estructura conceptual de los buenos y la de los malos resolventes, lo que se refleja, en este caso, en un número de ecuaciones correctas de tipo general que es similar para ambos grupos de sujetos; sin embargo, las diferencias se presentan en lo que concierne a la estructura fina, a la riqueza semántica de sus componentes y a su nivel de especificidad, lo que permite a los buenos resolventes efectuar un mayor número de inferencias orienta-

das, de forma efectiva, hacia la construcción de la solución. La mayor parte de los sujetos malos resolventes disponen del conocimiento declarativo necesario e incluso del "procedimental" en forma de reglas expresadas, de un modo declarativo, pero fallan en el trayecto que conecta el conocimiento general con el específico exigido por una circunstancia concreta. De hecho, la aplicación efectiva de una regla de producción supone la comprensión profunda del antecedente, la captación de toda su riqueza semántica y ese es otro de los puntos en los que la estructura cognitiva de los malos resolventes presenta deficiencias notables.

- c) **Se observan diferencias en cuanto al papel que desempeñan los aspectos gráficos o figurativos de la representación entre los buenos y los malos resolventes.** Tales diferencias, que son tan sólo insinuadas por los resultados del epígrafe 4 de la tabla 7.1, se muestran con toda claridad en los del epígrafe 6. Los buenos resolventes son netamente superiores a los malos resolventes en el rendimiento que obtienen de la representación figurativa del enunciado, y que se traduce en un número de inferencias de esta naturaleza notablemente mayor.

El papel que desempeña la representación figurativa del enunciado depende drásticamente de las características del mundo del problema descritas en él. Tal circunstancia se pone, en nuestro caso, claramente de manifiesto sin más que comparar los epígrafes 4 y 6 de la tabla 7.1 correspondientes al problema nº 1 con los de la tabla 7.2 relativos al problema nº 2. Particularmente en los problemas de Mecánica, los aspectos figurativos de la representación suelen ser decisivos y, de hecho, analizando los protocolos se observa, con cierta frecuencia, cómo el sujeto avanza en la construcción de la representación del problema interaccionando con el esquema o esquemas gráficos.

Este resultado del Estudio III añade comprensión a la cuestión de la influencia de la dependencia/independencia de campo en la resolución de problemas en Física observada en el Estudio I. Una importante fracción de las infe-

rencias necesarias para la resolución de problemas de Mecánica se apoya en algún tipo de representación figurativa del enunciado, por lo que, dadas las características de la DIC como dimensión del estilo cognitivo, su interferencia en este tipo de problemas puede resultar crucial.

- d) **Una implementación de esquemas de razonamiento que respete, en cierta medida, un orden de complejidad creciente en el uso de las leyes o de los principios de la Física parece resultar más efectiva.** Así, por ejemplo, en la resolución del problema n° 1 subyace la implementación de dos esquemas muy generales, la noción de conservación de la energía y la idea de un cierto balance o ecuación entre magnitudes vectoriales, bien sea en la acepción estática de sólo fuerzas (incluidas las de inercia) bien sea en la acepción dinámica que implica fuerzas y aceleración. Como aparece resumido en la tabla 7.5 la mayor parte de los sujetos que consiguen resolver bien el problema (4/5) iniciaron la resolución partiendo del esquema de energías y terminando con el de fuerzas. Sin embargo, la mayor parte de los sujetos que no consiguen resolverlo (2/3) ignoraron el desarrollo de dicho teorema de la Mecánica como punto efectivo de partida. No cabe duda de que un esquema de razonamiento de carácter vectorial es, en general, más complejo que otro de carácter escalar, aunque sólo sea por las diferencias existentes en la naturaleza de las magnitudes en juego; y éste podría ser, asimismo, el

TABLA 7.5.: Resumen de los procedimientos empleados por los malos y por los buenos resolventes (MR/BR) en el problema número 1 y que corresponden al desarrollo propiamente dicho de la resolución.

Problema número 1	MR	BR
Comienzan por razonar en términos de energías: $E_c + E_p = \text{cte.}$	1	4
Comienzan por razonar en términos de fuerzas: $T = F_c + P$ ó $T - P = ma$	2	1

origen de las diferencias observadas en la eficacia de uno o de otro procedimiento.

Cabe además resaltar la circunstancia de que el anterior resultado observacional puede ser considerado, de hecho, como una predicción o consecuencia derivada de la hipótesis planteada con anterioridad que identifica la representación efectiva con un proceso progresivo de construcción cognitiva. La utilización de esquemas que respeten el orden que va de lo relativamente simple a lo relativamente complejo se ajustará presumiblemente mejor a ese procedimiento natural de representación y resultará, por tal motivo, más efectivo. Tanto este resultado como nuestra interpretación del mismo concuerdan con la idea principal que, en el ámbito de la Psicología Cognitiva, subyace en el llamado "modelo de los niveles de representación" según la cual *"los procesos de razonamiento pueden concebirse como funciones de construcción y comprobación sucesivas de representaciones cada vez más profundas, integradoras y alejadas de la información estimular"* (Rivière, 1985 p. 681).

5.1.4. Otras diferencias

- a) **Los buenos resolventes se muestran seguros y confiados.** Dicha conclusión se apoya en el resultado de ciertos comentarios o de ciertas expresiones que se hacen explícitos durante el proceso de resolución y está relacionada con el tipo de estrategias generales empleadas, que permite a los buenos resolventes consolidar progresivamente sus hallazgos, otorgándoles una cierta solidez. Por otra parte, la perturbación de las funciones cognitivas por factores afectivos o emocionales, características de los sujetos dependientes de campo, podría ser otro factor a considerar (ver capítulo 4), que aportaría su contribución a ese especie de anillo causal en el que sucumben con frecuencia los malos resolventes, según el cual la utilización de estrategias no apropiadas produce inseguridad, y ésta, a su vez, dificulta el empleo de procedimientos eficaces de resolución.

- b) **Las expectativas de los sujetos resolventes sobre la magnitud previsible de los resultados ejerce una clara influencia sobre el proceso de resolución.** En los malos resolventes producen una cierta perplejidad, que sólo contribuye a empeorar la situación incrementando la sensación de inseguridad (véase apartado 3.2, tablas 7.1 y 7.2) que es de por sí frecuente en este tipo de sujetos (o, más exactamente, de circunstancias). En los buenos resolventes, por el contrario, les fuerza, con bastante frecuencia, a efectuar un análisis crítico, una evaluación exhaustiva de los procedimientos que se traduce, en ocasiones, en el desarrollo de métodos alternativos para proceder a una contrastación efectiva de los resultados. Tal ha sido el caso, por ejemplo, del sujeto GG o del AS, en el problema nº 2 que lo han resuelto, tanto en términos energéticos como en términos dinámicos, con el propósito de comprobar que el resultado anormalmente alto, según sus expectativas, era correcto. Tal circunstancia aparece reflejada en las correspondientes secuencias (dobles) de inferencias del cuadro 7.5.

5.2. LOS BUENOS RESOLVENTES FRENTE A LOS EXPERTOS

5.2.1. Aspectos generales

La idea subyacente en la hipótesis más general formulada en la presente investigación, consiste en aceptar que existen ciertos atributos fundamentales que caracterizan las representaciones eficaces más allá de las diferencias que puedan atribuirse a la expertez. No cabe duda de que los sujetos expertos disponen de una base de conocimientos mucho más amplia y que su experiencia les proporciona una gran cantidad de conocimiento tácito y auxiliar (Reif, 1981). Tales ventajas se dejarían sentir, probablemente con toda nitidez, ante la resolución de problemas abiertos referidos a un dominio amplio de contenido como pueden ser las auténticas investigaciones científicas, circunstancia en la cual las diferencias son adecuadas a la escala del problema. Sin embargo, en la resolu-

ción de problemas cerrados —esto es, que tienen solución dentro de un dominio restringido de conocimientos— la hipótesis anterior predice un comportamiento similar si se deja a un lado la variable tiempo de resolución. Dicha predicción será puesta a prueba en lo que sigue a través de un análisis comparativo entre las características fundamentales del comportamiento de los expertos, descritas en estudios previos, y las del comportamiento de los alumnos buenos resolventes aportadas por esta investigación.

A modo de cuestión preliminar, cabe resaltar el interés que presenta semejante enfoque. Desde un punto de vista práctico esta clase de problemas, vinculados a dominios de contenido ricos semánticamente pero relativamente restringidos, son los que concierne en mayor medida a la instrucción científica. Pero además, y desde un punto de vista teórico, el anterior planteamiento se beneficia de una estrategia de investigación típicamente científica que supone centrar la atención en sistemas lo suficientemente simples y manejables como para poder ser bien descritos y lo suficientemente modélicos como para servir de base en un proceso posterior de construcción teórica de mayor envergadura.

5.2.2. Características fundamentales del comportamiento de los expertos

De las investigaciones sobre las diferencias observables en el comportamiento de los expertos en la resolución de problemas de Física frente al de los novatos (ver capítulo 3) pueden extraerse los siguientes rasgos característicos fundamentales que constituyen, de hecho, una especie de patrón procedimental básico y relativamente bien definido.

- a) Los sujetos expertos construyen una descripción o representación inicial del problema cualitativa o de bajo nivel de detalle antes de implicarse en el desarrollo de ecuaciones (Larkin et al, 1979; Chi et al, 1981).
- b) El experto parece generar tempranamente algún tipo de representación conceptual más o menos global del enunciado (Chi et al, 1981).

- c) El proceso de resolución seguido por los expertos está dirigido por una estructura de conocimiento basada en principios generales (Chi et al, 1981).
- d) Los esquemas de los expertos contienen, además, conocimiento procedimental que incluye condiciones explícitas de aplicabilidad. Las orientaciones efectivas que asisten a los expertos no radican tanto en el conocimiento de términos y de enunciados verbales o proposicionales, como en lo que ellos significan en un contexto dado (Chi et al, 1981).
- e) Los expertos resuelven, con frecuencia, los problemas trabajando hacia adelante, de los datos hacia las incógnitas (Larkin et al, 1980a).
- f) El experto construye, siempre que es posible, una representación física, es decir, en términos de componentes o mecanismos del mundo real que le permite, entre otras cosas, efectuar inferencias directas a partir de ciertas características y relaciones que no están explícitas en el enunciado pero que pueden ser deducidas de este tipo de representaciones (Chi et al, 1982; Larkin et al, 1980a).
- g) Los expertos realizan a lo largo del proceso de resolución un doble papel; el papel de actor, en el sentido de trabajar en la resolución buscando caminos y desarrollándolos y, a un tiempo, el papel de supervisor, analizando críticamente el trabajo anterior, evaluando paso a paso su actuación y reorientándola si es preciso (López Rupérez, 1987; Nickerson et al, 1985).
- h) Los expertos dedican cierto tiempo a efectuar una evaluación final de los resultados obtenidos y de los procedimientos de resolución empleados (Larkin et al, 1979; Larkin, 1980a).

5.2.3. Los buenos resolventes frente a los expertos

Tal y como hemos planteado con anterioridad, la hipótesis más general de nuestra investigación, a su vez vinculada a un principio teórico de más alto nivel, convierte las características fundamentales del comportamiento de los expertos en auténticas predicciones respecto del comportamiento de los estudiantes buenos

resolventes. En lo que sigue haremos explícita la relación existente entre lo observado y lo predicho aún a costa de una reiteración tan cierta como inevitable.

- a) Todos los buenos resolventes parten de un análisis cualitativo y de una cierta representación conceptual, por lo general poco precisa aunque acertada, del enunciado lo que se corresponde con las predicciones derivadas de las características a) y b) del comportamiento de los sujetos expertos.
- b) Los buenos resolventes presentan una organización del conocimiento en la que, por encima de sus aspectos generales, destaca su estructura fina, la riqueza semántica de sus componentes y su nivel de especificidad lo que les permite efectuar un número relativamente elevado de inferencias; tal resultado se corresponde con la predicción derivada de la característica d) del comportamiento de los expertos.
- c) Los buenos resolventes se destacan por el rendimiento que obtienen de la representación figurativa del enunciado y que se traduce en un número relativamente elevado de inferencias de esta naturaleza. Dicho resultado puede ser considerado, de acuerdo con nuestra hipótesis de partida, como una predicción derivada de la característica f) del comportamiento de los expertos.
- d) Los buenos resolventes efectúan tareas autocorrectivas a lo largo de todo el proceso de resolución; ello les permite eliminar errores no mucho después de que se hayan producido. Los buenos resolventes someten a prueba cada avance relativamente importante hacia la solución y es, de este modo, que consiguen salvar los errores procedimentales e incluso algunos de tipo conceptual. Dicho resultado que aparece con toda claridad en el análisis de los protocolos verbales constituye, de hecho, una predicción derivada de la característica g) del comportamiento de los expertos.
- e) Los buenos resolventes efectúan, con bastante frecuencia, algún tipo de evaluación final de los resultados. Dicha característica, que se pone de manifiesto en los resultados

recogidos en el epígrafe 3.3 de las tablas 7.1 y 7.2, puede considerarse como el punto final de esa tendencia autocorrectiva ya señalada y es, asimismo, la predicción correspondiente a la característica h) del comportamiento de los expertos anteriormente señalada.

- f) Las predicciones derivadas de las características c) y e) del comportamiento de los expertos resultan también validadas por los datos observacionales, aunque de una manera menos evidente que las anteriores. Así, si bien es cierto que los buenos resolventes trabajaron, por lo general, de los datos hacia las incógnitas en los dos problemas considerados, también lo hicieron los malos resolventes. Sin embargo, hemos de señalar que tampoco es ésta una de las notas más consistentes del comportamiento de los expertos, ya que cuando los problemas se complican también ellos trabajan hacia atrás, esto es, de las incógnitas hacia los datos (Larkin et al, 1980). Por otra parte, la presencia de principios generales en el razonamiento estuvo presente tanto en los buenos como en los malos resolventes, aun cuando las diferencias estribaron en la utilización que hicieron de ellos, en la riqueza semántica de tales principios en la memoria del estudiante y en el conocimiento preciso tanto de sus condiciones de aplicabilidad como de las reglas de uso de los conceptos implicados.

De lo anterior parece entonces deducirse que la eficacia característica de los estudiantes buenos resolventes tiene su origen en un patrón procedimental (entendido éste en un sentido muy amplio) definido. Dicho patrón no es, desde luego, reducible al de los malos resolventes sino que se corresponde, básicamente, con el de los sujetos expertos. En otros términos, más que patrones procedimentales de sujetos expertos y patrones procedimentales de sujetos novatos, lo que se deriva de nuestra investigación es, pura y simplemente, la existencia de procedimientos eficaces y de procedimientos ineficaces en lo que respecta a la construcción de la representación y a la subsiguiente resolución de problemas de corte académico o escolar.

6. Algunas conclusiones

6.1. ORGANIZACION DEL CONOCIMIENTO vs. REPRESENTACION

Dos tipos de información observacional, en principio diferentes, hemos obtenido en nuestra investigación: una referida al conocimiento declarativo, otra al conocimiento procedimental tanto de alumnos buenos resolventes como de alumnos malos resolventes. Tiene, pues, sentido intentar confrontar ambas en busca de una mayor coherencia empírica.

La primera confrontación que se nos ocurre es de tipo conceptual y terminológica. El término **organización de la base de conocimientos** o incluso el de **conocimiento declarativo** son deudores respecto del marco teórico que ofrece el paradigma del procesamiento de la información dominante en la Psicología Cognitiva actual. No vamos, por el momento, a profundizar en las relaciones entre conocimiento declarativo y conocimiento procedimental, pero sí a precisar su significado en el contexto de nuestra investigación.

La información obtenida a partir de los mapas conceptuales es, en principio, una información sobre las características de la organización del conocimiento conceptual en los sujetos resolventes; sin embargo, no se trata de una estructura estática sino de un sistema de elementos y de relaciones que surge, que se construye como tal al hilo de la representación, que forma parte de ella o, incluso, que la configura. Tiene, por tanto, un carácter esencialmente dinámico. Pero, además, y precisamente por ello, dicha estructura no puede ser considerada independiente del conocimiento procedimental. Como se deduce del análisis de los mapas conceptuales, particularmente de los buenos resolventes, los conceptos aparecen relacionados en el mapa en un orden que es reflejo de la secuencia de inferencias que guió el proceso de resolución. Esa jerarquía, ya sea en un sentido **simple** → **complejo** (*datos* → *incógnitas*, en algunos casos) o **general** → **particular** (*leyes, principios o teoremas* → *consecuencias*, en otros), que se aprecia en los mapas de los buenos resolventes describe, de hecho, dos aspectos complementarios del modo de proceder de los sujetos competentes los cuales construyen

(*simple* → *complejo*) su representación inspirados, con frecuencia de un modo inicialmente difuso, en leyes o principios físicos (*general* → *particular*), tal y como queda registrado en los protocolos de resolución.

Los mapas conceptuales reflejan, de nuevo, la coherencia entre conocimiento declarativo y conocimiento procedimental al mostrar cómo la estructura conceptual general, o superficial, de los buenos resolventes es similar a la de los malos, estribando las diferencias en el significado de los conceptos, de sus relaciones y de sus reglas de uso, aspectos todos ellos de esta estructura fina y profunda del conocimiento de la que surgen, en ocasiones de un modo casi "automático", una buena parte de las inferencias efectivas.

6.2. COMPETENCIA vs. EXPERTEZ

La relación existente entre nuestra investigación y las investigaciones expertos/novatos anteriormente descritas no se reduce simplemente a una cierta continuidad metodológica sino que, cuando se consideran globalmente los resultados de ambas, emerge de dicho análisis conjunto una coherencia que, por su trascendencia, nos proponemos destacar.

Las características de los expertos —transformadas en nuestra investigación, en predicciones respecto del comportamiento de los estudiantes buenos resolventes— corresponden, básicamente, a una síntesis de los resultados no refutados en los estudios expertos/novatos disponibles. Pero es más, cuando se analiza la ambiciosa investigación de Chi et al (1982) y se compara, en términos de resultados, con la nuestra se observa una concordancia francamente amplia; hasta el punto de poderse afirmar que nuestros resultados replican, básicamente, los correspondientes suyos *sino fuera por esa restricción*, importante desde un punto de vista fundamental, de la dimensión **expertos/novatos** al segmento **alumnos buenos resolventes/alumnos malos resolventes**, que distingue nuestro enfoque.

Así, Chi et al(1982) no encuentran diferencias sistemáticas entre expertos y novatos en lo que respecta al número de ecuaciones generadas; *tampoco las hallamos nosotros entre alumnos buenos y malos resolventes*. Observan que también los novatos efectúan análisis cualitativos iniciales; nosotros también lo observamos en

los malos resolventes. Señalan que el análisis cualitativo se lleva a cabo, con frecuencia, a lo largo del proceso de resolución, análogamente a lo observado por nosotros y que nos ha llevado a identificar la representación como un proceso dilatado de construcción ideacional. No observan diferencias entre ambos grupos en lo que respecta al conocimiento superficial pero sí en lo relativo al conocimiento profundo que incluye principios, procedimientos y reglas de aplicación; nosotros tampoco observamos diferencias entre los nuestros, en lo que respecta a los aspectos generales del conocimiento pero sí en lo que concierne a los aspectos finos de la estructura cognitiva, a la riqueza semántica de sus componentes y a su nivel de especificidad, lo cual se traduce en la producción de un mayor número de inferencias que se articulan en procedimientos de resolución efectivos. Precisamente este tipo de observaciones nos ha llevado a postular la especificidad como característica fundamental de las representaciones eficaces.

Yendo aún más lejos, algunas diferencias expertos/novatos presentadas por tales investigadores podrían desdibujarse si se pasa a considerar los novatos más competentes en lugar de los menos competentes. Así, por ejemplo, cuando se analizan los resultados y las condiciones del estudio 5, en el que se denuncian las carencias que presentan los sujetos novatos en su conocimiento fundamental de los principios de la Física, se observa que los novatos empleados en dicho estudio fueron estudiantes de grado B, es decir, menos competentes. Algo semejante sucede en el estudio 8, en el que se sitúa el origen de las dificultades de los novatos en su limitada capacidad para generar inferencias y relaciones que no están establecidas explícitamente en el enunciado; también en este estudio los novatos fueron estudiantes de grado B.

Aunque de forma no todo lo explícita que sería necesario, la ambigüedad en la diferenciación expertos/novatos frente a la más operativa, e incluso interesante, de buenos y malos resolventes es insinuada, esporádicamente, por los referidos investigadores en diferentes momentos del artículo. Así en la pág. 62 se puede leer: *"Los estudios previos han sugerido que los novatos, en general, tienen un conocimiento que es deficiente en una variedad de aspectos (quizás con la excepción de los estudiantes A)"*. Un poco antes en la pág. 54, afirman: ... *"Una tercera deficiencia en la base de conocimientos de los novatos, al menos para los estudiantes B, ..."*.

Así, pues, aun cuando no podemos afirmar, en sentido estricto, que este tipo de resultados repliquen los correspondientes nuestros, confirman, desde luego, nuestra perspectiva, la hipótesis más general de nuestra investigación y validan, en cierta medida, el principio teórico que las sustenta. Además, tal orientación es capaz de explicar esas aparentes contradicciones que afloran en los estudios expertos/novatos sobre problemas de Física; tales inconsistencias empíricas serían debidas a diferencias significativas en la competencia de los sujetos expertos, de los sujetos novatos o de ambos, que fueron seleccionados para participar en la correspondiente investigación; dicho en otros términos, tendrían su origen en posiciones no equivalentes de los sujetos observados —y catalogados, en principio, en grupos idénticos— sobre el espectro continuo experto-novato anteriormente referido.

6.3. A MODO DE CONCLUSION FINAL

De todo lo anterior parece entonces emerger un cuadro relativamente claro con consecuencias definidas en lo que a la Educación Científica respecta. La integración de los resultados de la presente investigación en una perspectiva teórica más amplia, la comprobación de su capacidad para explicar otros fenómenos cognitivos conexos, constatados ya sea en el nivel puramente epistemológico, ya sea en el de la enseñanza/aprendizaje científicos, y la articulación de una estrategia o conjunto de estrategias de enseñanza, fundadas en tal perspectiva teórica y experimentalmente contrastables, será objeto de una investigación posterior ya iniciada (López Rupérez, 1989). No obstante lo cual, de la presente se derivan algunas consecuencias para la Didáctica de la Física que, parafraseando en parte la conocida cita de Ausubel (1976, p. 151), podrían resumirse en los siguientes términos:

“Averigüense cuáles son las características de las representaciones eficaces y enséñese en consecuencia”

REFERENCIAS

- ATKIN, J. A. (1978): *An information processing model of learning and problem solving*. Ann Arbor, MI, Ph. D. Thesis, University Microfilms University of Michigan.
- AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D. y HANESIAN, H. (1976): *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo* (Trillas, México).
- BASCONES, J. y NOVAK, J. D. (1985): "Alternative instructional systems and the development of problem-solving skills in physics". *European Journal of Science Education* 7 (3) 253-261.
- BEAUDOT, A. (1980): *La creatividad* (Narcea, Madrid).
- BEST, J. W. (1978): *Cómo investigar en educación* (Morata, Madrid).
- BLALOCK, H. M. (1986): *Estadística social* (Fondo de Cultura Económica México).
- BODNER, G. M. y McMILLEN, T. L. B. (1986): "Cognitive Restructuring as an early stage in Problem Solving". *Journal of Research in Science Teaching* 23 (8) 727-737.
- BROWN, H. I. (1988): *La nueva filosofía de la ciencia*. (Tecnos, Barcelona).
- BRUMBY, M. (1983): "Concept mapping: Structure or process?". *Research in Science Education* 13, 9-17.
- CALKINS, R. P. y WELKOWITZ, L. (1984): "The Scientific Investigation of Creativity: What should we study?". *Educational Perspectives* 22 (3) 9-14.
- CAMACHO, M. y GOOD, R. (1989): "Problem Solving and chemical equilibrium Successful versus Unsuccessful performance". *Journal of Research in Science Teaching* 26 (3) 251-272.
- CAMPBELL, D. y STANLEY, J. (1973): *Diseños experimentales y cuasiexperimentales en la investigación social*. (Amorrortu, Buenos Aires).
- CARRETERO, M. (1980): "Desarrollo intelectual durante la adolescencia: competencia, actuación y diferencias individuales". *Infancia y aprendizaje* 12, 81-98.

- CARREIRAS, M. (1986): "Mapas cognitivos: revisión crítica". *Estudios de Psicología* 26, 61-91.
- CLAXTON, G. (1986): "The alternative conceiver's conceptions". *Studies in Science Education* 13, 123-130.
- COLLINS, A. M. y QUILAN, M. R. (1972): "How to make a Language User". En E. Tulering y W. Donalson (Eds). *Organization of Memory* Academic Press New York.
- COOK, A. (1985): "Clarification of propositions in Science Teaching". *European Journal of Science Education* 7 (1) 37-43.
- CORRAL, A. (1982): "La influencia del estilo cognitivo. Dependencia-Independencia de campo en la resolución de dos problemas de Física". *Infancia y aprendizaje* 18, 107-123.
- CRONBACH, L. J. (1957): "The two disciplines of scientific psychology". *American Psychologist* 12, 671-684.
- CRONBACH, L. J. y WEBB, N. (1975): "Between class and within-classes effects in reported Aptitude-Treatment interaction". *Journal of Educational Psychology* 67, 717-724.
- CRONBACH, L. J. y SNOW, R. E. (1977): *Aptitudes and instructional methods* (Irvington Press, New York).
- CHAMPAGNE, A., KLOPFER, L., DESENA, A. T. y SQUIRES, D. A. (1981): "Structural representations of students' knowledge before and after Science Instruction". *Journal of Research in Science Teaching*. 18 (2) 97-111.
- CHAMPAGNE, A., GUNSTONE, R. y KLOPFER, L. (1983): "Naive Knowledge and Science learning". *Research in Science and Technology Education* 1 (2) 173-183.
- CHAMPAGNE, A., GUNSTONE, R. y KLOPFER, L. (1985): "Instructional consequences of students' knowledge about Physical Phenomena". *Cognitive Structure and Conceptual Change*. 61-90.
- CHI, M. T. H., FELTOVICH, P. J. y GLASER, R. (1981): "Categorization and representation of physics problems by experts and novices". *Cognitive Science*. 5, 121-152.
- CHI, M. T. H., GLASER, R. y REES, E. (1982): "Expertise in problem solving". En R. Sternberg (Ed) *Advances in the psychology of human intelligence* (Vol. 1) (p. 7-75) (LEA, Hillsdale NJ).
- DEESE, J. (1962): "On the structure of associative meaning". *Psychological Review* 69, 161-175.

- DI SESSA, A. (1979): "On Learnable Representations of Knowledge: A meaning for the Computational Metaphor". *Cognitive Process Instruction*. J. Lochhead y J. Clement (Eds) The Franklin Itte Press, Philadelphia. (Citado en J. OTERO, Revista de Educación 278, p. 63, 1985).
- DI SESSA, A. (1982): "Unlearning aristotelian physics: a study of knowledge based learning". *Cognitive Science* 6, 37-75
- DRAKE, S. (1980): *Galileo* (Alianza Editorial, Madrid, 1986).
- DRIVER, R. (1986): "Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos". *Enseñanza de las Ciencias* 4 (1) 3-15.
- DRIVER, R. (1988): "Un enfoque constructivista para el desarrollo del curriculum de ciencias". *Enseñanza de las Ciencias* 6 (2) 109-120.
- DRIVER, R. y ERICKSON, G. (1983): "Theories in Action. Some theoretical and empirical usues in the study of student conceptual frameworks". *Studies in Science Education* 10, 37-60.
- DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHIE, A. (eds) (1985): *Children's Ideas in Science* (Open University Press, Philadelphia).
- EDWARDS, J. y FRASER, K. (1983): "Concept maps as refectors of conceptual understanding". *Research in Science Education* 13, 19-26.
- ELLIOT, R. (1961): "Interrelationships among of field independence ability personality traits". *Journal of Abnorm. Soc. Psychol.* 63, 27-38.
- EVANECHKO, P. O., ARMSTRONG, R. D. y MC FETRIDGE, P. A. (1974): "Semantic Space and the Development of Word Meaning". *Alberta Journal of Educational Research* 20, 305-315.
- EYLON, B. y REIF, F. (1984): "Effects of knowledge Organization in Task Performance". *Cognition and Instruction* 1 (1) 5-44.
- FALLS, T. H. y VOSS, B. (1985): *The Ability of High School Chemistry Students to solve computational Problems Requiring Proportional Reasoning as Affected by Items in-task variables*. Artículo presentado al Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching (58 th, French Lick Springs, IN, April 15-18).
- FENSHAM, P. J., GARRARO, J. y WEST, L. (1981): "The use of cognitive mapping in teaching and learning strategies". *Research in Science Education* 11, 121-129.
- FEYERABEND, P. K. (1962): "Explanation Reduction and Empiricism". En *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. III (Ed. Feigl and G. Maxwell) Univ. of Minnesota Press, Minneapolis, 1962.
- FERNANDEZ BALLESTEROS, R. (1980): "Del estilo cognitivo 'Dependencia-independencia de campo' a una teoría de la diferenciación". *Revista de Psicología General y Aplicada* 35 (3) 467-490.

- FINEGOLD, M. y MASS, R. (1985): "Differences in the Processes of Solving Physics Problems between Good Physics Problem Solvers and Poor Physics Problem Solvers". *Research in Science and Tecnological Education* 3 (1) 59-67.
- FREDERIKSEN, N. (1984): "Implication of cognitive theory for Instruction in Problem Solving". *Review of Educational Research* 54 (3) 363-407.
- FRIDJA, N. H. (1972): "Simulation of human long-term memory". *Psychological Bulletin* 77, 1-31.
- FULLER, R. G. (1982): "Solving physics problems -how do we do it?". *Physics Today*, Sept. 1982, 43-47.
- FURIO, C. J. (1986): "Metodologías utilizadas en la selección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la Química". *Enseñanza de las Ciencias* 4 (1) 73-77.
- GABEL, D. L., SHERWOOD, R. O. y ENOCHS, L. (1984): "Problem Solving Skills of high School Chemistry Students". *Journal of Research in Science Teaching* 21 (2) 221-233.
- GAGNE, R. M. (1971): *Las condiciones del aprendizaje* (Aguilar, Madrid).
- GAGNE, R. M. (1980): "Learnable Aspects of Problem Solving". *Educational Psychologist* 15 (2) 84-92.
- GARRET, R. M. (1984): *Selected cognitive styles and aspects of their relationship to Problem Solving: An Empirical Study using Problems in Physics*. Ph. D. Thesis, University of Keele.
- GARRET, R. M. (1986): "Problem-solving in Science Education". *Studies in Science Education* 43, 70-95.
- GARRET, R. M. (1987): "Issues in Science Education: problem-solving creativity and originality". *International Journal in 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.
- GIL PEREZ, D. y MARTINEZ TORREGROSA, J. (1983): "A model for problem solving in accordance with scientific methodology". *European Journal of Science Education* 5, 447-455.
- GIL PEREZ, D. y MARTINEZ TORREGROSA, J. (1987): *La resolución de problemas de Física. Una didáctica alternativa*. (Vicens Vives-Ministerio de Educación y Ciencia, Barcelona).
- GIL PEREZ, D., MARTINEZ TORREGROSA, J. y SENENT PEREZ, F. (1988): "El fracaso en la resolución de problemas de Física: una investigación orientada por nuevos supuestos". *Enseñanza de las ciencias* 6 (2) 131-146.

- GILBERT, J. K. y WATT, D. M. (1983): "Concepts, Misconceptions and Alternative Conceptions: Changing Perspectives in Science Education". *Studies in Science Education* 10, 61-98.
- GILBERT, J. K. y SWIF, D. J. (1985): "Towards a Lakatosian Analysis of the Piagetian and alternative Conception Research Programs". *Science Education* 69 (5) 681-696.
- GOOD, R. y SMITH, M. (1987): "How do we make students better problems solvers". *The Science Teacher* April 31-36.
- GORODETSKY, M. y GUSSARSKY, E. (1986): "Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as reflected via different evaluation methods". *European Journal of Science Education* 8 (4) 427-441.
- GREENO, J. G. (1978): "Understanding and procedural Knowledge in mathematics instruction". *Educational Psychologist* 12 (3) 262-282.
- GREENO, J. G. (1980): "Trends in the theory of knowledge for Problem Solving". *Problem Solving and Education: Issues in Teaching and Research*. D. I. TUMA y F. REIF (Eds). 9-23 (LEA, Hillsdale).
- GUILFORD, J. (1967): *Some theoretical views of creativity in Contemporary Approaches to Psychology*. H. HEDSON y W. BEVAN (eds) (Van Nostrad, New York).
- GUILFORD, J. P. (1976): *Estructura de referencia para el comportamiento creativo en el Arte. Implicaciones educativas de la creatividad*. J. C. GOWAN, E. DEMOS y E. P. TORRANCE (Anaya, Salamanca).
- GUILFORD, J. P. (1980): "Cognitive Styles: what are they?". *Educational and Psychological Measurement* 40, 715-735.
- GUNSTONE, R. F. (1980): "Word association and the description of cognitive structure". *Research in Science Education* 10, 45-54.
- GUSSARKY, E. y GORODETSKY, M. (1988): "On the chemical equilibrium concept: Constrained word associations and conception". *Journal of Research in Science Teaching* 25 (5) 319-333.
- GUTIERREZ, R. (1987): "La investigación en didáctica de las ciencias: elementos para su comprensión". *Bordón* 268, 339-362.
- HASHWEH, M. (1988): "Descriptives Studies of Student's Conceptions in Science". *Journal of Research in Science Teaching* 25 (2) 121-134.
- HAYES, J. R. (1981): *The complet problem solving* (The Franklin Institute Press, Philadelphia).
- HELLER, J. F. y REIF, F. (1984): "Prescribing Effective Human Problem-Solving Processes: Problem Description in Physics". *Cognition and Instruction* 1 (2) 177-216.

- HEMPEL, C. G. (1962): *Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science*. Chicago University of Chicago Press.
- HEMPEL, C. G. (1981): *La filosofía de la ciencia natural* (Alianza Editorial, Madrid).
- HEWSON, M. y HEWSON, P. (1983): "Effect of instruction using student' prior knowledge and conceptual change strategies on Science learning". *Journal of Research in Science Teaching* 20 (8) 731-734.
- HOLLIDAY, W. G. (1979): "Aptitudes and Science Instruction". *Journal of Research in Science Teaching* 16 (2) 167-176.
- HUTEAU, J. M. (1980): "Dependence-Independence à l'égard du champ et développement de la pensée opératoire". *Archives Psychologiques XLVIII*. 184, 1-40.
- INHELDER, B. y PIAGET, J. (1972): *De la lógica del niño a la lógica del adolescente* (Paidós, Buenos Aires).
- JACSON, P. W. y MESSICK, S. (1965): "The person, the product and the response: conceptual problems in the assessment of creativity". En *Personality, Growth and Learning: A source book*. A. LASHDAM y J. WHITEHEAD (eds) 1971 (The Open University Press/Longmans, Milton Keynes).
- JOHNSON, P. E. (1964): "Associative meaning of concepts in Physics". *Journal of Educational Psychology* 55, 84-88.
- JOHNSON, P. E. (1965): "Word relatedness and problem-solving in high school Physics". *Journal of Educational Psychology* 56, 217-224.
- JOHNSON, P. E. (1967): "Some Psychological Aspects of Subject-Matter Structure". *Journal of Educational Psychology* 58 (2) 75-83.
- JOHNSON, P. E. (1969): "On the communication of concepts in Science". *Journal of Educational Psychology* 60, 32-40.
- JOHNSTONE, A. H. y MOYNIHAN, T. F. (1985): "The relationship between performance in word association tests and achievement in chemistry". *European Journal of Science Education* 7 (1) 37-66.
- KARPLUS, R. (1981): "Educational Aspects of the structure of Physics". *American Journal of Physics* 49 (3) 238-241.
- KEMPA, R. F. y NICHOLLS, C. E. (1983): "Problem-Solving ability and cognitive structure: an exploratory investigation". *European Journal of Science Education* 5 (2) 171-184.
- KEMPA, R. F. (1986): "Resolución de problemas de química y estructura cognoscitiva". *Enseñanza de las Ciencias* 4 (2) 99-110.
- KHUN, T. S. (1975): *La estructura de las revoluciones científicas*. (Fondo de Cultura Económica. Madrid).

- KORAN, M. L. y KORAN, J. J. (1984): "Aptitude-treatment interaction research in Science Education". *Journal of Research in Science Teaching* 21 (8) 793-808.
- KRAMERS-PALS, H. y PILOT, A. (1988): "Solving quantitative problems: guidelines for teaching derived from research". *International Journal of Science Education* 10 (5) 511-521.
- LAKATOS, I. (1976): *La metodología de los programas de investigación científica*. (Alianza, Madrid).
- LARKIN, J. H. y REIF, F. (1979): "Understanding and teaching problem solving in physics". *European Journal of Science Education* 1, 191-203.
- LARKIN, J. H. (1980a): "Teaching problem solving in Physics: The psychological laboratory and the practical classroom". En D. TUMA y F. REIF (eds). *Problem Solving and Education Issues in Teaching and Research* (L.E.A. Hillsdale).
- LARKIN, J. H. (1980b): "Skilled problem solving in physics: A hierarchical planning model". *Journal of Structural Learning* 6, 271-297.
- LARKIN, J. H. (1981): "Cognition of Learning Physics". *American Journal of Physics* 49 (6) 534-541.
- LARKIN, J. H., MC DERMOTT, J., SIMON, D. P. y SIMON, H. A. (1980): "Expert and novice performance in Solving physics problems". *Science* 208, 1335-1342.
- LAWSON, A. E. (1976): "Formal operation and Field Independence in a heterogeneous sample". *Perceptual and Motor Skills* 42, 981-982.
- LEHMAN, J. D., CARTER, C., BUTLER KAHLE, J. (1985): "Concept Mapping, Vee Mapping, and Achievement: Results of a Field Study with Black High School Students". *Journal of Research in Science Teaching* 22 (7) 663-673.
- LEVINE, D. I. y LINN, M. C. (1977): "Scientific Reasoning ability in adolescence. Theoretical viewpoints and educational implications". *Journal of Research in Science Teaching* 14 (4) 371-384.
- LINN, M. C. (1978): "Influence of cognitive style and Training on Tasks Requiring the separation of variables schema". *Child Development* 49, 874-877.
- LINN, M. C. (1982): "Theoretical and practical significance of formal reasoning". *Journal of Research in Science Teaching* 19 (9) 727-742.
- LINN, M. C. y LEVINE, D. I. (1978): "Adolescent Reasoning: Influence of Question Format and type of Variables on Ability to Control variables". *Science Education* 62 (3) 377-388.

- LINN, M. C. y KYLLONEN, P. (1981): "The Field Dependence-Independence Construct: Some, One or None". *Journal of Educational Psychology* 73 (2) 261-273.
- LINSAY, P. H. y NORMAN, D. A. (1977): *Human information processing: An introduction to psychology*. Academic, New York.
- LOPEZ DE MANTARAS, R. (1989): "Los sistemas expertos de segunda generación buscan el 'conocimiento profundo' ". *Tendencias* 2 (10) 3.
- LOPEZ RUPEREZ, F. y LOPEZ RUPEREZ, E. (1983): "Nociones de trabajo y energía. Análisis conceptual y didáctico". *Bordón* 249, 497-506.
- LOPEZ RUPEREZ, F. y SORIA, J. (1984): "Resonancia de Spin Electrónico y estructura molecular de psicofármacos". *Mundo Científico (La Recherche)* 4 (40) 1216-1221.
- LOPEZ RUPEREZ, F. (1986): *Estilo cognitivo y pensamiento formal. Análisis de la influencia de la dimensión dependencia-independencia de campo en el razonamiento formal a través del formato de la prueba*. En XIII Plan Nacional de Investigación Educativa. Memoria final. CIDE, Madrid.
- LOPEZ RUPEREZ, F. (1987): *Cómo estudiar Física* (Ministerio de Educación y Ciencia/Vicens-Vives, Barcelona).
- LOPEZ RUPEREZ, F. y PALACIOS GOMEZ, C. (1987): "Valor predictivo de algunas variables psicológicas en la elección de optativas en Bachillerato". *Bordón* 268, 387-403.
- LOPEZ RUPEREZ, F. (1989): *En pos del significado. Una perspectiva radical de aprendizaje científico*. Programa de ayudas a la Investigación Educativa, CI-DE-MEC..
- LOPEZ RUPEREZ, F. (1990): "Epistemología y didáctica de las ciencias. Un análisis de segundo orden". *Enseñanza de las Ciencias* 8 (1) 65-74.
- LOPEZ RUPEREZ, F., PALACIOS, C. y SANCHEZ, J. (1991): "Relation of Field Independence and test item format to student performance on written piagetian tests". *Journal of Research in Science Teaching* 28 (5) 389-400.
- MATE HERNANDEZ, J. L. y PAZOS SIERRA, J. (1988): *Ingeniería del conocimiento. Diseño y construcción de sistemas expertos*. (SEPA, Córdoba-Argentina).
- MATTHEWS, G. P., BROOK, G. V. y KHAN-GANDAPUR, T. H. (1984a): "Cognitive structure determination as a tool in science teaching. Part 1: A new method of creating concept maps". *European Journal of Science Education*, 6 (3) 169-177.
- MATTHEWS, G. P., BROOK, G. V. y KHAN-GANDAPUR, T. H. (1984b): "Cognitive structure determination as a tool in science teaching. Part 2: The measurement of Piaget-sphecific levels". *European Journal of Science Education*, 6 (3) 289-297.

- MATTHEWS, G. P., BROOK, G. V. y KHAN-GANDAPUR, T. H. (1985): "Cognitive structure determination as a tool in science teaching. Part 3: Results". *European Journal of Science Education* 7 (3) 263-279 .
- MAYER, R. E. (1985): *Pensamiento, resolución de problemas y cognición*. (Paidós, Barcelona).
- MC CARTHY, C. A. (1977): *Differences in the performance of high achieving and lowachieving gifted pupils in grades four, five and six on measures of field dependence-field independence creativity and self concept*. Doctoral Dissertation. (University of Southern California).
- MC CLELLAND, J. A. (1984): "Alternative frameworks: Interpretations of Evidence". *European Journal of Science Education* 6 (1) 1-6.
- MC DERMOTT, J. y LARKIN, J. H. (1978): "Re-representing textbook physics problems". *Proceedings of the second National Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence*. Toronto, University of Toronto Press.
- METTES, C.T., PILOT, A., ROOSSINK, H. J. y KRAMERS-PALS, H. (1980): "Teaching and Learning Problem Solving in Science Part I: A general Strategy". *Journal of Chemical Education* 57 (12) 882-885.
- METTES, C. T., PILOT, A., ROOSSINK, H. J. y KRAMERS-PALS, H. (1980): "Teaching and Learning Problem Solving in Science Part II: Learning problem Solving in a Thermodynamics Course". *Journal of Chemical Education* 58 (1) 51-55.
- MORAWCISK, M. (1981): "Creativity in Science Education". *Science Education* 65, 221-227.
- MOREIRA, M. A. (1979): "Concept maps as tools for teaching". *Journal of College Science Teaching* 8, 283-286.
- MOREIRA, M. A. y SANTOS, C. A. (1981): "The influence of content organization on student's cognitive structure in thermodynamics". *Journal of Research in Science Teaching* 18 (6) 525-531.
- MOREIRA, M. A. y TAKECO, G. S. (1985): "Mapas conceptuales como recursos instruccionales de la enseñanza de la Física". *Enseñanza de las Ciencias*, número extra p. 14.
- MOREIRA, M. A. (1989): *O Vê epistemológico de Gowing como recurso instruccional*. Trabajo presentado al III Congreso Internacional sobre la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas. (Santiago de Compostela, 20-22 septiembre).
- MORRIS, T. L. y BERGUN, B. O. (1978): "A note on the relationship between field-independence and creativity". *Perceptual and Motor Skills* 46, 1114.

- MOYNIHAN, T. F. (1981): *Word association techniques for the study of cognitive structure of chemical concepts in Scottish Secondary Schools*. M. Sc. Thesis, The University of Glasgow.
- MOYNIHAN, T. F. (1982): "Word association techniques for the study of cognitive structure of chemical concepts in Scottish Secondary Schools". *Chemical Education Research in Implication for Teaching*. Report of a Symposium (Royal Society of Chemistry, London pp. 79-89).
- NEIMARK, E. D. (1979): "Confounding with cognitive style factors: an artifact for the apparent non universal incidence of formal operations". En I. SIGEL, R. GOLINKOFF y D. BRODZINSKY (eds). *Piagetian theory and research: new directions and application* (Hillsdale, L.E.A.).
- NEWELL, A. y SIMON, H. A. (1972): *Human Problem Solving* (Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J.).
- NIAZ, M. y LAWSON, E. A. (1985): "Balancing chemical equations: The role of development level and mental capacity". *Journal of Research in Science Teaching* 22 (1) 41-51.
- NICKERSON, R. S., PERKINS, D. N. y SMITH, E. L. (1985): *The teaching of thinking* (Hillsdale, L.E.A.).
- NIE, N. H., HULL, C. H., JENKINS, J. G., STEINBRENNER, K. y BENT, D. H. (1975): *Statistical Package for the Social Sciences*. (McGraw Hill).
- NIEDA, J., DIAZ, M. V., GARCIA, P., ORTEGA, P., BONILLA, I., AGUIRRE DE CARCER, I. (1985): "El uso de los mapas conceptuales en la corrección de preguntas abiertas en Biología". *Enseñanza de las Ciencias* 3 (2) 91-95.
- NOBLE, J. P. y FRANK, B. M. (1985): "Field Independence-Dependence and Verbal Restructuring". *Journal of Experimental Education* 54 (1) 28-33.
- NOPPE, L. D. (1978): *A neo-Piagetian cognitive styles analysis of creative problem solving*. Doctoral dissertation (Temple University).
- NOPPE, L. D. (1985): "The relationship of formal thought and cognitive styles to creativity". *Journal of creative Behavior* 19 (2) 88-96.
- NORMAN, D. A. y RUMELHALT, D. E. (1975): *Exploration in cognition*. W. H. Freeman, San Francisco.
- NOVAK, J. D. (1976): "Understanding the learning processes and effectiveness of teaching methods in the classroom laboratory and field". *Science Education* 60(4) 493-512.
- NOVAK, G. (1977): "Representation of Knowledge in a program for solving physics problems". *Proceeding of the Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence* (MIT Press Cambridge, Mass.).

- NOVAK, J. D. (1982): *Teoría y práctica de la educación* (Alianza Universidad, Madrid).
- NOVAK, J. D., GOWIN, D. B. y JOHANSEN, G. T. (1983): "The use of Concept Mapping and knowledge vee mapping with junior High School Science Students". *Science Education* 67 (5) 625-645.
- NOVAK, J. D., y GOWING, D. B. (1984): *Learning how to learn*. Cap. 2, Cambridge University Press, Cambridge.
- NOVAK, J. D. (1985): "Metalearning and metaknowledge strategies to help students learn how to learn". En *Cognitive Structure and Conceptual change*. L. H. T. West y A. L. Pines Eds. (Academic Press, Orlando).
- NOVAK, J. D. (1988): "Constructivismo humano. Un consenso emergente". *Enseñanza de las Ciencias* 6 (3) 213-223.
- NUSSBAUM, J. y NOVICK, S. (1982): "Alternative frameworks, conceptual conflict and accomodation: toward a principled teaching strategy". *Instructional Science* 11 (3) 183-200.
- OTERO, J. (1986): "El aprendizaje de los conceptos científicos en los niveles medio y superior de la enseñanza". *Revista de educación* 278, 39-66.
- PALACIOS, J. y CARRETERO, M. (1982): "Implicaciones educativas de los estilos cognitivos". *Infancia y Aprendizaje* 18, 83-106.
- PASCUAL-LEONE, J. (1969): *Cognitive development and cognitive style: a general psychological integration*. Thèse, Université de Genève.
- PASCUAL-LEONE, J. (1974): *A neo-piagetian process-structural model of Wittkin's psychological differentiation*. Artículo presentado en Second International Conference of the International Association for Cross-cultural Psychology (Kingstone Ontario, August 6-10).
- PIAGET, J. (1978): *La equilibración de las estructuras cognitivas*. (Siglo XXI, Madrid).
- POLYA, G. (1945): *How to solve it*. Princeton University Press, Princeton N.J.
- POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W. y GERTZOG (1982): "Accommodation of a Scientific conception: Toward a theory of conceptual change". *Science Education* 66 (2) 211-277.
- POZO, J. I. (1987): *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. (Visor, Madrid).
- PREECE, P. F. W. (1976): "Mapping Cognitive Structure: A comparison of methods". *Journal of Educational Psychology* 68 (1) 1-8.
- PREECE, P. F. W. (1978): "Exploration of Semantic Space: Review of Research on the organization of scientific concepts in Semantic Memory". *Science Education* 62 (4) 547-562.

- PUTZ-OSTERLOH, W. (1974): "On the Effectiveness of Problem-Solving Training". *Zeitschrift für Psychologie* 182, 251-276.
- REICHENBACH, H. (1938): *Experience and Prediction*. University of Chicago Press, Chicago. (Ver H. I. Brown La nueva filosofía de la ciencia, cap. IX Tecnos, Barcelona 1988).
- REIF, F. (1980): "Theoretical and Educational Concerns with Problem-Solving: Bridging the Gaps With Human Cognitive Engineering". En D. T. Tuma y F. Reif (Eds), *Problem Solving and Education: Issues in Teaching and Research* (LEA, Hillsdale NJ).
- REIF, F. (1981): "Teaching problem solving. A scientific approach". *The Physics Teacher* May, 310-314.
- REIF, F. y HELLER, J. I. (1982): "Knowledge Structure and problem solving in physics". *Educational Psychologist* 17 (2) 102-127.
- REIF, F. (1983): "How can Chemists Teach Problem Solving? Suggestion Derived from Studies of Cognitive Processes". *Journal of Chemical Education* 60 (11) 948-953.
- REIF, F. (1987): "Instructional Design, cognition and technology. Applications to the teaching of Scientific Concepts". *Journal of Research in Science Teaching* 24 (4) 301-324.
- RIVIERE, A. (1985): "Hacia una nueva concepción de la función de las representaciones en el razonamiento: El modelo de los niveles de representación". *Revista de Psicología General y Aplicada* 40 (4) 667-701.
- RIVIERE, A. (1987): *El sujeto de la psicología cognitiva* (Alianza Editorial, Madrid).
- ROBERTS, D. (1982): "The place of qualitative research in Science Education". *Journal of Research in Science Teaching* 19 (4) 277-292.
- ROMO SANTOS, M. (1986): "Independencia de campo y pensamiento divergente". *Rev. Psicología General y Aplicada* 41 (5) 849-870.
- ROMO SANTOS, M. (1987): "Treinta y cinco años del pensamiento divergente: teoría de la creatividad de Guilford". *Estudios de Psicología* 27-28, 175-192.
- RONNING, R. R., MC CURDY, D. y BALLINGER, R. (1984): "Individual differences: A third component in problem-solving instruction". *Journal of Research in Science Teaching* 21 (1) 71-82.
- ROWELL, J. A. y DAWSON, C. J. (1979): "Cognitive conflict: its nature and use in the teaching of science". *Research in Science Education* 9, 169-175.
- RUMELHART, D. E. y ORTONY, A. (1977): "The representation of knowledge in Memory". En *Schooling and the acquisition of knowledge*. R. C. Anderson, R. F.J. Spiro y W. E. Montague (Eds) N. J. Lawrence Erlbaum, Hillsdale.

- RYLE, G. (1949): *The concept of mind*. (Hutchinson, London).
- SAARNI, C. I. (1973): "Piagetian Operations and Field Independence as Factors in Children's Problem-Solving Performance". *Child Development* 44, 338-345.
- SCHOENFELD, A. H. (1979a): "Can heuristics be taught?", en J. Lochhead y J. Clement (Eds). *Cognitive process instruction* (Philadelphia P. A. The Franklin Institute Press).
- SCHOENFELD, A. H. (1979b): "Explicit heuristic training as a variable in problem solving performance". *Journal of Research in Mathematics Education* 10 (3) 173-187.
- SCHOENFELD, A. H. (1980): "Teaching problem-solving skills". *American Mathematical Monthly* 87 (10) 794-805.
- SCRIVEN, M. (1980): "Prescriptive and Descriptive Approachs to Problem Solving" (pp. 127-139) D. T. Tuma y F. Reif (Ed) en *Problem Solving and Education: Issues in Teaching and Research* (LEA, Hillsdale NJ).
- SEBASTIA, J. M. (1989): "El constructivismo: un marco teórico problemático". *Enseñanza de las ciencias* 7 (2) 158-161.
- SEELS, L. (1988): *Components of Expertise*. Comunicación personal (Documento fotocopiado).
- SERRAMONA, J. (1980): *Investigación y estadística aplicada a la educación* (CEAC, Barcelona).
- SERRANO GISBERT, T. (1987): "Los marcos alternativos de los alumnos, un nuevo enfoque de la investigación sobre el aprendizaje de las ciencias". *Bor-dón* 268, 363-386.
- SHAVELSON, R. J. (1971): "Some aspects of the relationship between content structure and cognitive structure in physics instruction". Doctoral dissertation University Microfilms n° 71-19, 759, Stanford University, *Diss. Abstr. Int.* 1971, 32, 799A.
- SHAVELSON, R. J. (1972): "Some aspects of the correspondence between Content Structure and Cognitive Structure in Physics Instruction". *Journal of Educational Psychology* 63 (3) 225-234..
- SHAVELSON, R. J. (1973): "Learning from Physics Instruction". *Journal of Research in Science Teaching* 10 (2) 101-111.
- SHAVELSON, R. J. (1974): "Methods for Examining Representations of a Subject-Matter Structure in a Student's Memory". *Journal of Research in Science Teaching* 11 (3) 231-249.
- SHAVELSON, R. J. y STANTOPN, G. C. (1975): "Construct Validation: Methodology and Application to three Measures of Cognitive Structure". *Journal of Educational Measurement* 12 (2) 67-85.

- SHYMANSKY, A. J. y YORE, L. D. (1980): "A study of Teaching Strategies, student cognitive development, and cognitive style as they relate to student achievement in Sciences". *Journal of Research in Science Teaching* 17 (5) 369-382.
- SHUELL, T. J. (1985): "Knowledge representation cognitive structure and school learning: A Historical Perspective". *Cognitive Structure and Conceptual Change* 117-129.
- SIERRA PAZOS, J. (1987): "La ingeniería del conocimiento y su aplicación al sistema educativo". *Bordón*, 269, 523-547.
- SIMON, H. A. (1973): "The structure of ill-structured problems". *Artificial Intelligence* 4, 181-201.
- SIMON, H. A. (1978): "Information-processing theory of human problem-solving". En W. K. ESTES (ed) *Handbook of learning and cognitive processes* Vol. 5 *Human information processing* (Erlbaum, Hillsdale).
- SIMON, H. A. (1979): "Information processing models of cognition". *Annual Review of Psychology* 20, 363-396.
- SIMMONS, M. J. (1988): *Problem Solving Behaviors of Successful and Unsuccessful Subject leading to a Genetic Problem Solving Model*. Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching (61st Lake of the Osarks, M.O. Abril 10-13).
- SMILANSKY, J. y HALLBERSTADT, N. (1986): "Inventors versus Problem Solvers: An Empirical Investigation". *Journal of Creative Behavior* 20 (3) 183-201.
- SMITH, M. V. y GOOD, R. (1984): "Problem Solving and classical genetics. Successful versus unsuccessful performance". *Journal of Research in Science Teaching* 21 (9) 815-912.
- SMITH, M. V. (1988): "Successful and Unsuccessful Problem Solving in Classical Genetic Pedigrees". *Journal of Research in Science Teaching* 25 (6) 411-433.
- STEWART, J. (1979): "Content and cognitive structure: Critique of Assessment and Representation Techniques used by Science Education Researches". *Science Education* 63 (3) 395-405.
- STEWART, J. (1980): "Techniques for Assessing and Representing Information in Cognitive Structure". *Science Education* 64 (2) 223-235.
- STEWART, J., VAN KIRK, J., ROWEL, R. (1979): "Concept Maps: A Tool for use in Biology Teaching". *The American Biology Teacher* 41 (23) 171-175.
- STEWART, J. H. y ATKIN, J. A. (1982): "Information processing Psychology: A promisor paradigm for research in Science Teaching". *Journal of Research in Science Teaching* 19 (4) 321-332.

- STRAWITZ, B. M. (1984a): "Cognitive Style and the acquisition and transfer of the ability to control variables". *Journal of Research in Science Teaching* 21 (2) 133-141.
- STRAWITZ, B. M. (1984b): "Cognitive Style and the effects of two instructional treatments of the ability to control variables: a longitudinal study". *Journal of Research in Science Teaching* 21 (8) 833-841.
- STRIKE, K. A. y POSNER, G. J. (1976): "Epistemological perspectives on conceptions of curriculum organization and learning". En *Review of Research in Education*. S. Shulman (Ed) F. E. PEACOCK, Itaka, Il.
- STRIKE, K. A. y POSNER, G. J. (1985): *A conceptual change view of learning and understanding*. *Cognitive Structure and Conceptual Change*. L. H. T. WEST y A. LEON (eds) 211-230 (Academia Press, New York).
- STUART, H. A. (1985): "Should concept maps be scored numerically?". *European Journal of Science Education* 7 (1) 73-81.
- SUTTON, C. R. (1980): "The Learner's Prior Knowledge: a Critical Review of Techniques for Probing its Organization". *European Journal of Science Education* 62 (4) 547-562.
- TISZA, L. (1963): "The Conceptual Structures of Physics". *Reviews of Modern Physics* 35 (1) 151-185.
- TRHO, M. P. (1978): "Relationships Between Associative and Content Structure of Physics Concepts". *Journal of Educational Psychology* 70 (6) 971-978.
- TUMA, D. T. y REIF, F. (eds) (1980): *Problem Solving and Education: Issues in Teaching and Research* (L.E.A., Hillsdale).
- VEGA, M. (1984): *Introducción a la psicología cognitiva* (Alianza Editorial, Madrid).
- WALLACH, M. (1980): *Creativity*. En Carmichael's Manual of Child Psychology. P. J. MUSSEU (eds) (John Wiley, New York).
- WASHINGTON, N. (1971): "Creativity in Science Education". *Science Education* 55, 147-150.
- WEISBERG, R. W. (1987): *Creatividad. El genio y otros mitos* (Labor, Barcelona).
- WELCH, W. W. (1983): "Experimental inquiry and naturalistic inquiry: An evaluation". *Journal of Research in Science Teaching* 20 (2) 95-103.
- WEST, L. H. T., FENSMAN, P. J. y GARRAND (1985): "Describing the cognitive structures of learners following instruction in Chemistry". *Cognitive Structure and Conceptual Change* L. H. T. West y A. L. PINES (Eds). 29-48 (Academic Press, Orlando).
- WHITE, B. Y. (1983): "Sources of difficulty in understanding newtonian dynamics". *Cognitive Science* 7, 41-65.

- WHITE, R. (1967): *The philosophy of mind*. (Random House, New York).
- WHITE, R. (1985): "Interview protocols and dimensions of cognitive Structure". *Cognitive Structure and Conceptual Change*. L. H. T. West y A. L. PINES (Eds). 51-58 (Academic Press, Orlando).
- WICKELGREN, W. A. (1974): *How to solve problems. Elements of a theory of Problems and Problem Solving* (Freeman and Co, San Francisco).
- WITKIN, H. A., MOORE, C. A., GOODENOUGH, D. R. y COX, P. W. (1977a): "Field Dependent and Field Independent cognitive styles and their Educational Implications". *Review of Educational Research* 47 (1) 1-64.
- WITKIN, H. A., MOORE, C. A., OLTMAN, P. K., GOODENOUGH, D. R., FRIEDMAN, F., OWEN, D. y RASKIN, E. (1977b): "Role of the Field-Dependent and Field-Independent cognitives styles in Academic Evolution: A Longitudinal Study". *Journal of Educational Psychology* 69 (3) 197-211.
- WITKIN, H. A., OLTMAN, P. K., GOODENOUGH, D. R. (1979): "Psychological Differentiation: current status". *Journal of Person. Soc. Psychological* 7, 1127-1144.
- WITKIN, H. A., OLTMAN, P. K., RASKIN, E. y KAMP, S. A. (1981): *Tests de Figuras Enmascaradas* (TEA Ed. S.A, Madrid).
- WITKIN, H. A. y GOODENOUGH, D. R. (1985): *Estilos cognitivos. Naturaleza y origenes*. (Pirámide, Madrid).



Ministerio de Educación y Ciencia

Secretaría de Estado de Educación

Dirección General de Renovación Pedagógica
