

INVESTIGACIONES Y EXPERIENCIAS

LOS MAPAS CONCEPTUALES Y LA
ENSEÑANZA/APRENDIZAJE DE LA FÍSICA (*)

FRANCISCO LÓPEZ RUPÉREZ (**)

INTRODUCCIÓN

La forma en la que el conocimiento se estructura, se organiza o se utiliza 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 (Pozo, 1987) la acerca a los dominios propios de la educación científica —preocupada por las cuestiones relativas al conocimiento científico y a su transmisión—, pero a la vez tal desplazamiento ejerce un efecto de arrastre sobre la propia educación científica, reforzando, de hecho, el valor de las investigaciones que, desarrolladas en este último ámbito, tienen como objeto la elucidación de la representación del conocimiento científico en la memoria de los alumnos.

El auge del movimiento de las concepciones alternativas en detrimento de la orientación piagetiana (López Rupérez, 1990a), por ejemplo, o el interés por la influencia de la organización del conocimiento sobre la resolución de problemas (Reif, 1980; Reif *et al.*, 1982; Chi *et al.*, 1982; López Rupérez, 1989) no son ajenos a la anteriormente referida reorientación. Por su parte, el desarrollo efectuado por Novak de la teoría de Ausubel del aprendizaje significativo (Ausubel *et al.*, 1976) no ha hecho más que converger hacia ese mismo punto. Es en este contexto en el que deben enmarcarse los mapas conceptuales —en tanto que elaboración de una representación bidimensional de un sistema conceptual dado y de sus relaciones internas—, cuyo uso, como herramienta de enseñanza-aprendizaje científicos, ha alcanzado una cierta popularidad, de la mano del propio Novak (Novak *et al.*, 1983,

(*) El presente trabajo forma parte del proyecto «La organización del conocimiento y la resolución de problemas. Un estudio experimental», financiado por el CIDE con cargo al programa de Ayudas a la Investigación Educativa 1987. Ministerio de Educación y Ciencia.

(**) Instituto Español de París.

1984; Novak, 1985, 1988), tanto entre los profesores de ciencias como entre los investigadores en educación científica.

Tiene, pues, sentido efectuar una reflexión crítica sobre este desarrollo particular, derivado de tal perspectiva teórica, enfrentándolo a la exigencia disciplinar y cognoscitiva de la Física como asignatura científica, con la intención de arrojar alguna luz adicional que permita precisar el papel de los mapas conceptuales como herramienta de enseñanza-aprendizaje y, particularmente, sus limitaciones. Este es el objetivo principal del presente estudio, en el que se han intentado integrar análisis de naturaleza empírica, análisis de tipo teórico y análisis de corte epistemológico en la forma que a continuación se presenta.

EL CONOCIMIENTO COMO ESTRUCTURA

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; Frederiksen, 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 de que la aceleración de la gravedad a nivel del mar valga 9.8 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 de la 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 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.

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 algunos 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 relacional 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 metáfora. Nociones tales como las de 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, de forma más o menos abierta, 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 del 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» o de matrices-distancia (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; Gussarsky *et al.*, 1988), predomina en cualquier caso la idea de estructura y, por tanto, la imagen de configuración relativamente estable. Por otra parte, el carácter 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, centrando 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 representativos 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 con 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 adquiere 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 disociable 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 en 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, calificada 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.

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 de 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 en 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 cognitiva de buenos y malos resolventes (Kempa, 1983, 1986; Chi *et al.*, 1982; López Rupérez, 1989; López Rupérez *et al.*, 1990b); pero además, 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 (López Rupérez *et al.*, 1990c).

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 cogni-*

tiva del sujeto. Esta división, que alude, respectivamente, al componente lógico y al componente psicológico del conocimiento científico, se manifiesta tanto en la naturaleza de las publicaciones en las que se describe 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 (1968), 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 una 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 deja 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 1 recoge una muestra significativa (no exhaustiva) de referencias bibliográficas sobre mapas conceptuales que han sido clasificadas de acuerdo con las seis categorías que resultan de 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.

LOS MAPAS CONCEPTUALES DE TIPO JERÁRQUICO: UN ANÁLISIS DE CORTE EPISTEMOLÓGICO

Dentro del extenso repertorio de mapas conceptuales centraremos, en lo que sigue, la atención en dos clases de mapas conceptuales: las redes semánticas y los mapas «tipo Novak».

TABLA 1

Clasificación de los mapas conceptuales en relación con 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 (1963) Karplus (1981) López Rupérez (1987)	Shavelson (1972, 1974) Preece (1976) Kempa <i>et al.</i> (1983) Gussarky <i>et al.</i> (1983) Johnstone <i>et al.</i> (1985) Matthews <i>et al.</i> (1984a, b, c, 1985)
Conceptual/ proposicional	Stewart <i>et al.</i> (1979) Novak <i>et al.</i> (1984)	Champagne <i>et al.</i> (1981) Stewart (1980) Stuart (1985) Novak <i>et al.</i> (1983, 1984)
Estrictamente proposicional	Cook (1985)	

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 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.

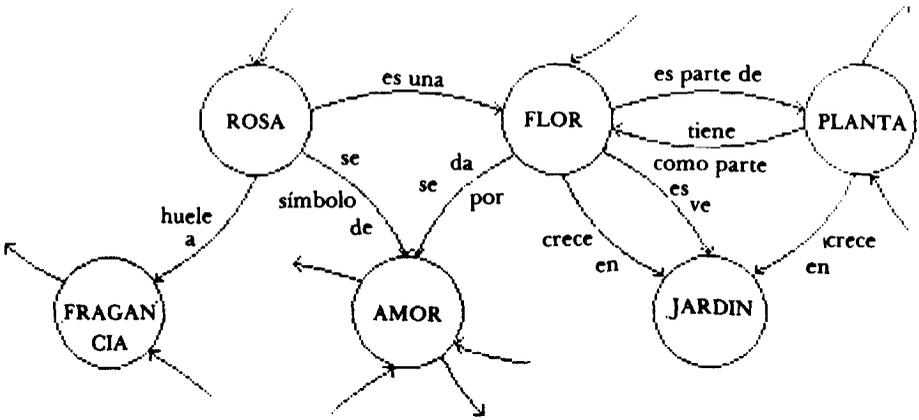


FIGURA 1.

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

Ese 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. 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», cada uno de los cuales se ve especificado 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 ob-

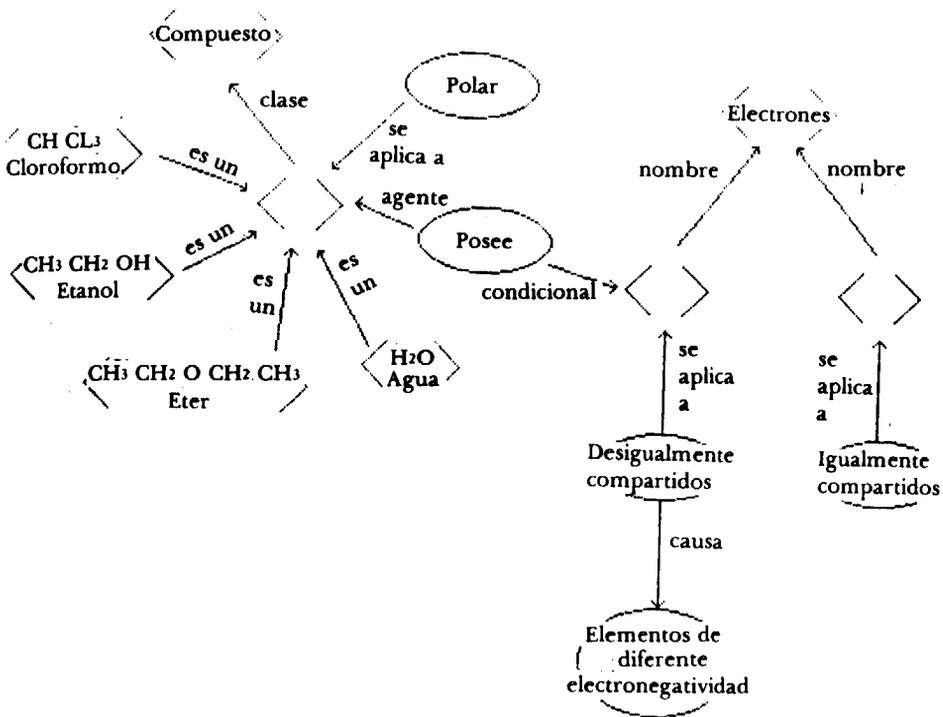


FIGURA 2.

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 Athin, 1982). Los corchetes representan ejemplos de conceptos genéricos, mientras que los óvalos corresponden a propiedades que se aplican a otros nodos de la red

tenidos 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 directa-

mente 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 contruidos 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 figura 3). Los estudiantes deben decidir por sí mismos como representar los conceptos jerárquicamente lo mejor posible, así como las palabras que deben usar para relacionarlos entre sí. Otro procedimiento consiste en hacer que los estudiantes identifiquen conceptos claves en un texto y, a continuación, utilizar tales conceptos para formar un mapa jerárquico» (p. 626).

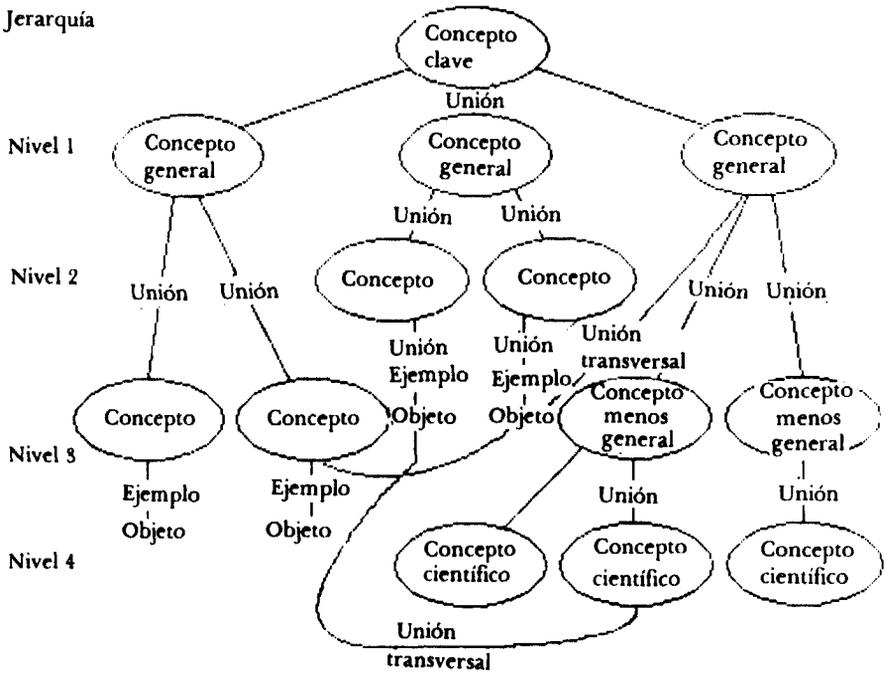


FIGURA 3a.

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

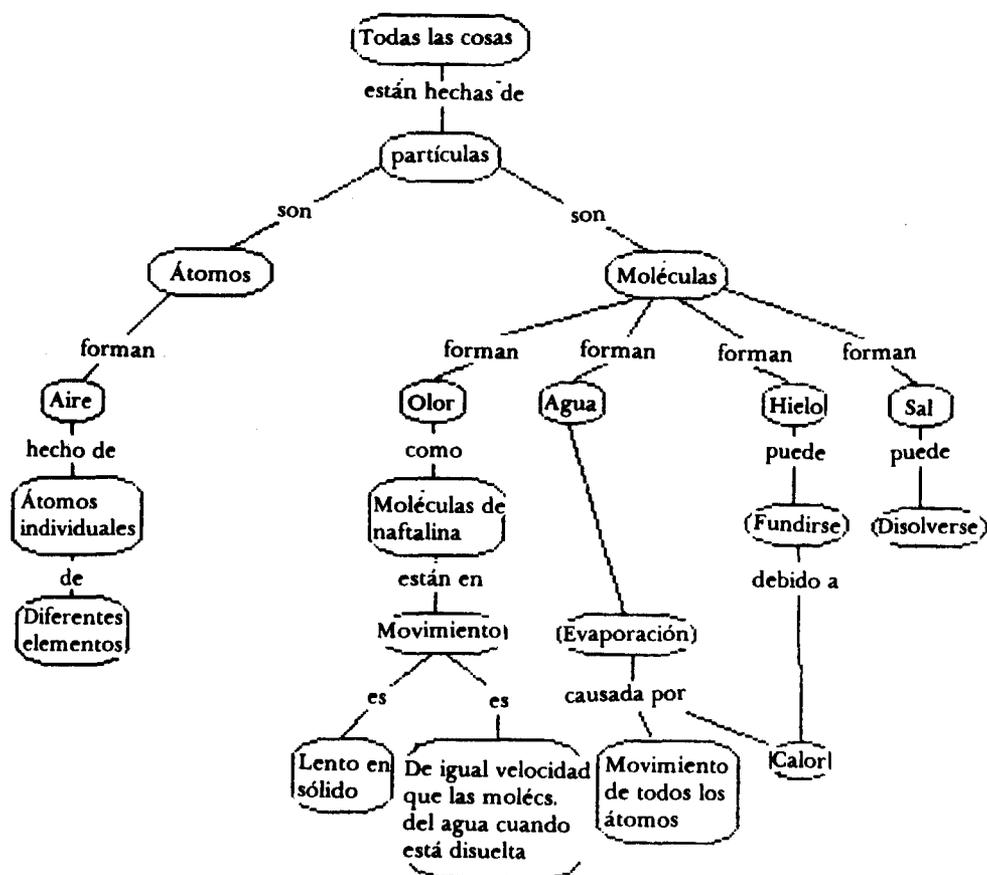


FIGURA 3b.

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)

Esta disposición peculiar, 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 basó en la teoría del aprendizaje de Ausubel» (p. 629).

Dentro de la categoría de mapas conceptuales de tipo jerárquico pueden incluirse, asimismo, los utilizados por nosotros en diferentes investigaciones (López Rupérez, 1989a, 1990c; López Rupérez *et al.*, 1990c) y que se hallan básicamente orientados hacia la estructura conceptual de la disciplina. Dichos mapas toman como criterio de jerarquía la simplicidad o, si se quiere, el nivel de complejidad conceptual. Así, los conceptos primitivos, que con frecuencia hacen referencia a atributos observacionales relativamente directos, aparecen situados en la parte superior del mapa. Las conexiones entre ellos, debidas ya sea a la introducción de nuevos conceptos en la red mediante definiciones de tipo operacional, ya sea a la incorporación de principios, leyes o teoremas pertinentes, son diferenciadas convenientemente según su naturaleza (López Rupérez, 1987, 1990c). Por otra parte, se incluye en cada nudo la expresión analítica del concepto. Una modalidad tal de mapas conceptuales se reduce, de hecho, a las del tipo Novak cuando se consideran como primitivos conceptos francamente inclusivos, como por ejemplo, la noción de energía en un tema sobre *trabajo y energía mecánica* (López Rupérez *et al.*, 1983), o la idea de cambio con el tiempo en otro relativo a *cinemática* (López Rupérez *et al.*, 1982). La ventaja de esta modalidad de mapas conceptuales estriba, esencialmente, en facilitar el proceso de construcción conceptual por parte del alumno desde la perspectiva de la lógica de la disciplina; en particular, en aquellas situaciones, tan frecuentes en un curso de Física, en las que se han de introducir los llamados conceptos por definición.

Prescindiendo por el momento de lo relativo a la contrastación empírica de la utilidad de los mapas conceptuales en tanto que instrumento didáctico, de un análisis de corte epistemológico sobre su naturaleza y sus principios de construcción se deriva un conjunto de observaciones y de críticas —referidas, en particular, a la utilización de los mapas conceptuales de tipo jerárquico como recurso para explorar la estructura cognitiva de los estudiantes—, 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 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 que 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 re-

peritorio 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 isiosincrasia que vemos en las estructuras conceptuales individuales* (p. 221). Una libertad relacional tal es contraria a la estructura de la disciplina y al fundamento lógico de la propia jerarquización conceptual. Frente a esta aparente ignorancia respecto a las restricciones que la naturaleza de la disciplina —o del enfoque correspondiente— pudiera imponer, nosotros postulamos una conexión de carácter inverso entre el *status* epistemológico de la disciplina (o del enfoque) y el carácter idiosincrásico del mapa conceptual; de manera que, en general, cuanto mayores sean 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 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 a la elección de conceptos primitivos en un sistema deductivo (Tisza, 1968) quedaría resuelta, en el ámbito didáctico, apelando a tal principio de construcción del mapa en aras de una estructura conceptual que facilitara 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 (aunque 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 *status* epistemológico sea muy diferente (Biología frente a Física, o Física en Educación General Básica frente a Física universitaria, por ejemplo). No deja de ser 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 fuentes (Novak *et al.*, 1983, 1984; Novak, 1985). No obstante, y con el propósito de fundamentar la anterior afirmación, nos apoyaremos en la figura 5, en la que se resumen los aspectos más destacados de dicha herramienta; útil,

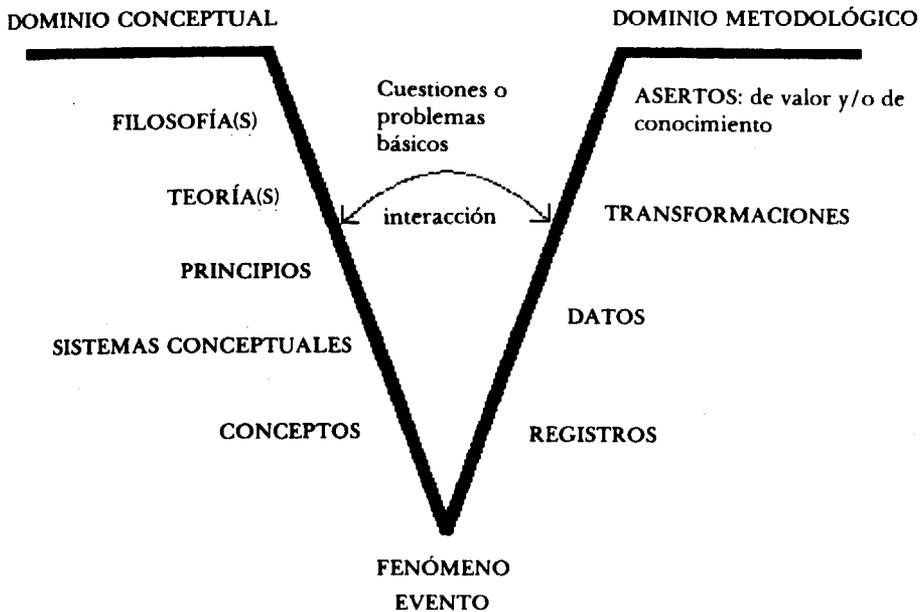


FIGURA 5.

Representación de «la V epistemológica» de Gowing en la que, como es habitual, se destaca la interrelación entre el lado izquierdo y el lado derecho; esto es, entre los aspectos conceptuales y los aspectos metodológicos del conocimiento científico

Esa independencia 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 *status* 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 este 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.

e) La anterior observación 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

sis sobre su potencial utilidad de cara a la mejora de 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 el *status* 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 requeriría una aportación incuestionable del 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 (figura 6). Una relación inversa de ese tipo predice 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 del 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).

Llegados a este punto, es posible admitir el carácter ortogonal de las tres variables consideradas en los dos esquemas anteriores (figuras 4 y 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 esta última, menor será su carácter idiosincrásico.

– La dureza (D) de la disciplina, entendida en un sentido epistemológico, que podría igualmente reflejar la posición correspondiente de la asignatura 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 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

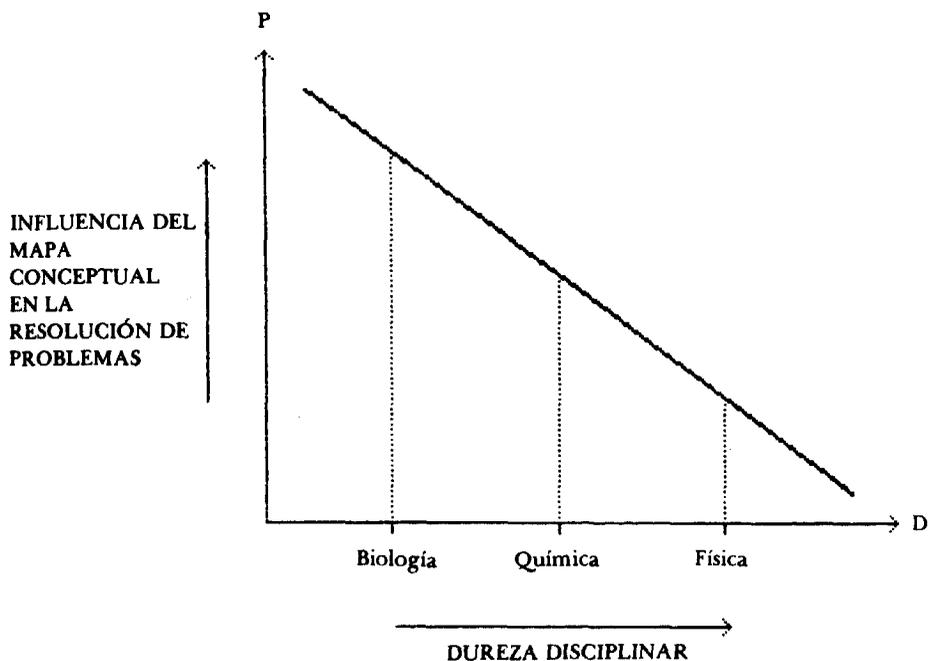


FIGURA 6.

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

sea la adecuación entre la estructura cognitiva del sujeto y la estructura conceptual de la materia. La figura 8 ilustra tal circunstancia sobre el plano definido por las variables $D-P$; I_2 representa, en el gráfico correspondiente, un valor del carácter idiosincrásico del mapa que es superior a I_1 , tal y como corresponde a la relación descrita en la figura 7. La figura 9 representa esa misma relación multivariada, ahora sobre el plano $I-P$.

Esta predicción tan plausible —que concuerda, por otra parte, con los resultados de algunas de las investigaciones empíricas anteriormente referidas (Shavelson, 1972, 1973; Thro, 1978)— permite completar una imagen relativamente simple de ciertos condicionantes de corte epistemológico que presentan los mapas conceptuales «tipo Novak» y de su repercusión en el ámbito de resolución de problemas; imagen que nos será de utilidad en la posterior interpretación de algunos resultados empíricos disponibles.

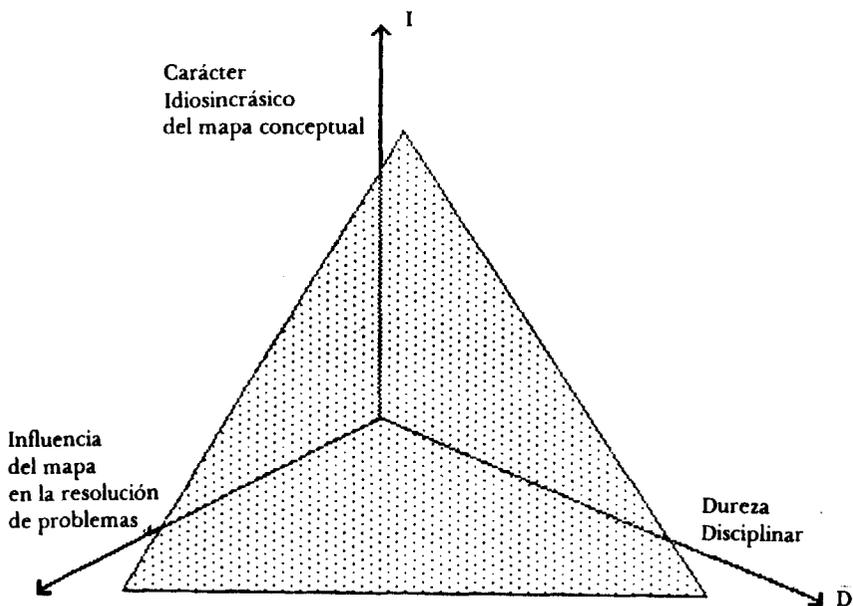


FIGURA 7.

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 trirectángulo de los correspondientes ejes

ALGUNOS RESULTADOS EMPÍRICOS

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

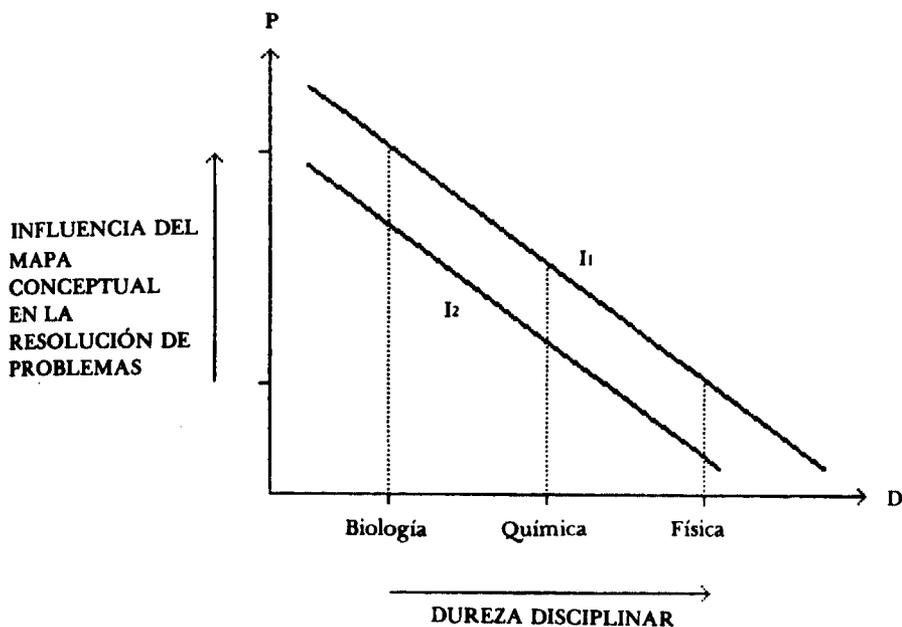


FIGURA 8.

Representación bidimensional de la relación postulada entre la dureza disciplinar y la influencia de la construcción del mapa conceptual correspondiente en la resolución de problemas cuando se controla la variable carácter idiosincrásico (I).

De acuerdo con el gráfico, cuanto mayor sea el carácter idiosincrásico del mapa para una asignatura dada, menor será su influencia en la resolución de problemas ($I_1 < I_2$)

Los mapas conceptuales, como los de Novak o como los nuestros, no sólo facilitan una organización del conocimiento estructurada a diferentes niveles de la jerarquía conceptual, sino que además, y desde un punto de vista práctico, constituyen instrumentos cuyo 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. En lo que sigue centraremos la referencia en los resultados empíricos habidos en el ámbito de la Física, citándonos a cuatro trabajos, dos relativos a mapas conceptuales «tipo Novak» (Novak *et al.*, 1983; Bascones *et al.*, 1985) y otros dos desarrollados sobre mapas jerárquicos no estrictamente «ausubelianos» (López Rupérez, 1990c; López Rupérez *et al.*, 1990c).

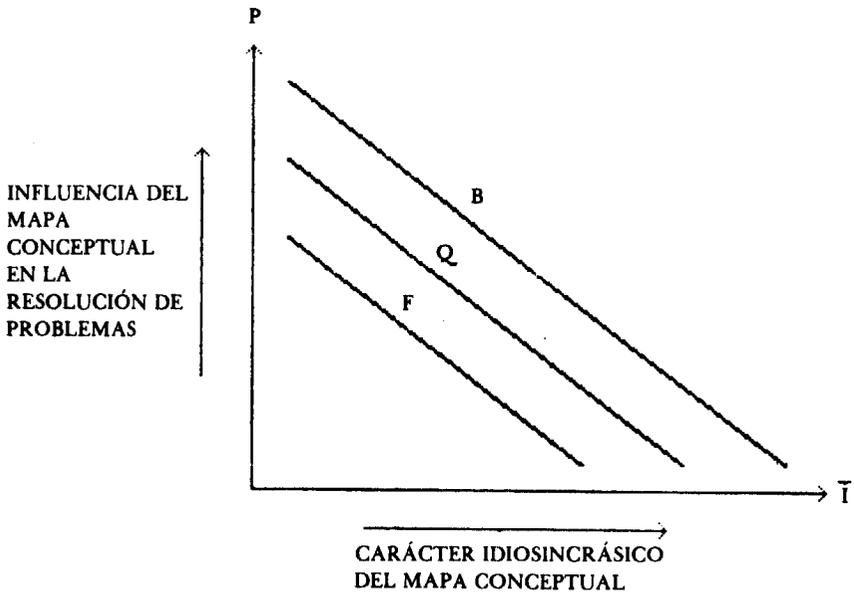


FIGURA 9.

Representación bidimensional de la relación postulada entre el carácter idiosincrásico del mapa conceptual y la influencia de su construcción jerárquica en la resolución de problemas cuando se controla la dureza disciplinar. 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

El trabajo de Novak *et al.* (1983) fue desarrollado con alumnos de Física elemental de enseñanza básica (grados 7.º y 8.º del sistema americano). Las clases seleccionadas como grupo experimental fueron sometidas a actividades, distribuidas a lo largo de todo un curso escolar, que implicaban tanto la construcción de mapas conceptuales como la elaboración de «la V» de Gowling (Novak *et al.*, 1984). A pesar de la valoración —a nuestro juicio, extremadamente optimista— por parte de los autores respecto a los resultados empíricos obtenidos, lo cierto es que de ellos sólo se deduce, con cierta claridad, que ante el enunciado de un problema de Física elemental y cualitativo los estudiantes del grupo experimental evidenciaron en sus contestaciones un número de relaciones entre conceptos significativamente

mayor que 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.

En el trabajo de Bascones *et al.* (1985), en el que el propio Novak figura como coautor, la edad de la muestra fue algo superior (grado 9: edad media, 14,3 años) que en el anterior estudio. El tratamiento efectuado sobre el grupo experimental consistió en la aplicación de un sistema de instrucción basado en la teoría de Ausubel y en el cual la construcción de mapas conceptuales fue incorporada como una actividad de aprendizaje. Es preciso destacar que el sistema de puntuación empleado tomaba en consideración diferentes aspectos relativos al proceso de resolución, de modo que un alumno genérico podía obtener una puntuación no despreciable sin conseguir resolver finalmente el problema. En lo esencial, los resultados empíricos obtenidos mostraban, no obstante, la existencia de diferencias estadísticamente significativas en las puntuaciones obtenidas ante la resolución de problemas de Física elemental, a favor del grupo de alumnos sometidos a una instrucción de tipo «ausubeliano».

Ambas investigaciones tienen en común el que se refieren a resultados en la resolución de problemas de Física 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 a la hora de 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 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, por otro lado, queda por resolver el papel de dichos mapas cuando los problemas se aproximan a los característicos de la Física superior. En este sentido se han orientado, precisamente, los estudios empíricos que se describen someramente a continuación.

En las dos investigaciones sobre mapas conceptuales que seguidamente se revisan se planteó como objetivo fundamental evaluar lo que añadía por sí mismo el mapa conceptual como instrumento didáctico; de ahí que en ambos casos se tomara su construcción como tratamiento en una fase terminal del proceso de aprendizaje, es decir, como elemento adicional a una instrucción reglada. El proceso de experimentación se repitió varias veces, para diferentes temas, a lo largo de un curso de Física de COU. En la primera de ellas (López Rupérez *et al.*, 1900*c*), y sobre un diseño experimental clásico de tipo factorial (Campbell *et al.*, 1973; Serramona, 1980), se consideró como valor independiente la efectividad en la resolución de problemas cuantitativos adecuados a dicho nivel de instrucción y efectuados en condiciones de examen, tomando como variable de control la dimensión dependencia-independencia de campo (DIC) del estilo cognitivo (López Rupérez, 1900*b*). Los diferentes análisis estadísticos efectuados pusieron de manifiesto los siguientes resultados empíricos:

i) La Dic influye significativamente en la resolución de problemas de Física, aunque en diferente grado; siendo mayor su influencia en los llamados problemas generales (problemas bien estructurados que requieren pensamiento productivo) frente a los problemas tipo o estándar.

ii) La DIC influye, particularmente, 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 no influye significativamente sobre la efectividad en la resolución de problemas de Física de carácter cuantitativo.

En la segunda investigación se intentó explorar la influencia de ese mismo tratamiento en la mejora de la estructura cognitiva (de tipo asociativo), utilizando como variable dependiente los resultados obtenidos mediante tests de asociación de palabras (López Rupérez, 1990c). En este estudio se demostró que aunque en cualquiera de las tres ocasiones, a lo largo del curso académico, en las que se realizó el experimento el trabajo personal mejoraba significativamente el número de palabras-respuesta relacionadas con cada palabra-estímulo por una ecuación o cadena de ecuaciones, ninguna de las tres medidas efectuadas revelaba diferencias significativas entre el grupo experimental y el grupo de control atribuibles al efecto del tratamiento; pareciendo, entonces, como si el tratamiento no añadiera a dicha estructura mucho más de lo que añadía la preparación y el estudio personal con vistas a la realización de un examen. A pesar del resultado negativo de este segundo estudio, la posible influencia del tratamiento no ya sobre la estructura asociativa, sino sobre los aspectos proposicionales o de significado del conocimiento en la memoria de los alumnos, constituye una cuestión abierta, toda vez que la construcción del mapa conceptual podría mejorar ésta sin alterar apreciablemente aquélla.

En lo que respecta, sin embargo, a los resultados del primer estudio, las previsiones teóricas planteadas en los apartados anteriores parecen concordar con los datos experimentales. 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 el conocimiento declarativo (proposicional o conceptual) y el conocimiento procedimental. En tales críticas subyace la idea, apoyada por resultados de investigaciones sobre la resolución de problemas (Atkin, 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, lo siguiente:

«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 sólo a los mapas «tipo Novak», sino también a la modalidad de mapas conceptuales empleada en nuestra investigación. Esta ausencia de contenido procedimental en los mapas conceptuales de tipo jerárquico limitaría su utilidad a aquella gama de problemas elementales y de carácter cualitativo en cuya resolución el conocimiento procedimental desempeña un papel mucho más reducido que el declarativo o conceptual.

Los resultados del trabajo de Eylon y Reif (1984) sobre la influencia de la organización jerárquica del conocimiento en la resolución de problemas de Física parece converger con nuestro anterior análisis. Dichos investigadores concluyen 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 las expectativas depositadas en los mapas conceptuales «tipo Novak», los cuales, como es sabido, se apoyan en un procedimiento de construcción, en principio, universal. La adaptación a la tarea constituye, por tanto, un requisito de efectividad de la organización del conocimiento; y una organización tal que no contenga información sobre procedimientos y reglas de uso de los conceptos no se corresponderá con ese tipo de problemas de Física de carácter cuantitativo que pueden ser considerados como banco de pruebas de los mapas conceptuales en tanto que herramienta de enseñanza-aprendizaje.

CONCLUSIONES

No obstante los anteriores resultados, 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 estudiante en su propio aprendizaje y le fuercen 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 a 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.

Finalmente, los resultados negativos obtenidos en los mapas conceptuales, a la hora de 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 característico de las Ciencias Físicas; mapas que comprendan algo más que la referencia a los conceptos y a sus relaciones jerárquicas, 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* —nombre que proponemos para esta 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. 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, 1989b), 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.

BIBLIOGRAFÍA

- Atkin, J. A. *An information processing model of learning and problem solving*. Ann Arbor, Mi, Ph. D. Thesis, University Microfilms University of Michigan, 1978.
- Ausubel, D. P.; Novak, J. D. y Hanesian, H. *Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México, Trillas, 1976.
- Bascones, J. y Novak, J. D. «Alternative instructional systems and the development of problem-solving skills in physics». *European Journal of Science Education*, 7 (3), 1985, pp. 253-261.
- Brown, H. I. *La nueva filosofía de la ciencia*. Barcelona, Tecnos, 1988.
- Brumby, M. «Concept mapping: Structure or process?» *Research in Science Education*, 13, 1983, pp. 9-17.
- Campbell, D. y Stanley, J. *Diseños experimentales y cuasiexperimentales*. Buenos Aires, Amorrortu, 1973.
- Collins, A. M. y Quilan, M. R. How to make a Language User, en E. Tulering y W. Donaldson (Eds.), *Organization of Memory*, New York, Academic Press, 1972.
- Cook, A. «Clarification of proporsitions in Science Teaching». *European Journal of Science Education*, 7 (1), 1985, pp. 37-43.
- Champagne, A.; Klopfer, L.; Desena, A. T. y Squires, D. A. «Structural representations of students' knowledge before and after science instruction». *Journal of Research in Science Teaching*, 18 (2), 1981, pp. 97-111.

Champagne, A.; Gunstone, R. y Klopfer, L. «Instructional consequences of students' knowledge about physical phenomena». *Cognitive Structure and Conceptual Change*, 1985, pp. 61-90.

Chi, M. T. H.; Glaser, R. y Rees, E. «Expertise in problem solving», en R. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (vol. 1), Hillsdale, NJ, LEA, 1982, pp. 7-75.

Evanechko, P. O.; Armstrong, R. D. y MC Fetridge, P. A. «Semantic Space and the Development of Word Meaning». *Alberta Journal of Educational Research*, 20, 1974, pp. 305-315.

Eylon, B. y Reif, F. «Effects of knowledge Organization in Task Performance». *Cognition and Instruction*, 1 (1), 1984, pp. 5-44.

Frederiksen, N. «Implication of cognitive theory, for instruction in problem solving». *Review of Educational Research*, 54(3), 1984, pp. 363-407.

Fridja, N. H. «Simulation of human long-term memory». *Psychological Bulletin*, 77, 1972, pp. 1-31.

Furio, C. J. «Metodologías utilizadas en la selección de dificultades y esquemas conceptuales en la enseñanza de la Química». *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 1986, pp. 73-77.

Gagne, R. M. *Las condiciones del aprendizaje*. Madrid, Aguilar, 1971.

– «Learnable Aspects of Problem Solving». *Education Psychologist*, 15 (2), 1980, pp. 84-92.

Greeno, J. G. «Understanding and procedural knowledge in mathematics instruction». *Educational Psychologist*, 12(3), 1978, pp. 262-282.

– «Trends in the theory of knowledge for problem solving», en D. I. Tuma y F. Reif (Eds.), *Problem solving and education: Issues in teaching and research*, Hillsdale, LEA, 1980, pp. 9-23.

Gussarky, E. y Gorodetsky, M. «On the chemical equilibrium concept: Constrained word associations and conception». *Journal of Research in Science Teaching*, 25(5), 1988, pp. 319-333.

Hempel, C. G. *Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science*. Chicago, University of Chicago Press, 1962.

– *La filosofía de la ciencia natural*. Madrid, Alianza Editorial, 1981.

Johnson, P. E. «Some Psychological Aspects of Subject-Matter Structure». *Journal of Educational Psychology*, 58(2), 1967, pp. 75-83.

Johnstone, A. H. y Moynihan, T. F. «The relationship between, performance in word association tests and achievement in chemistry». *European Journal of Science Education*, 7(1), 1985, pp. 37-66.

Karplus, R. «Educational Aspects of the Structure of Physics». *American Journal of Physics*, 49(3), 1981, pp. 238-241.

Kempa, R. F. y Nicholls, C. E. «Problem-solving ability and cognitive structure: An exploratory investigation». *European Journal of Science Education*, 5(2), 1983, pp. 171-184.

Larkin, J. H. «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*, Hillsdale, LEA, 1980.

Linsay, P. H. y Norman, D. A. *Human information processing: An introduction to psychology*. New York, Academic, 1977.

López Rupérez, F. *Cómo estudiar Física*. Barcelona, Ministerio de Educación y Ciencia/Vicens-Vives, 1987.

- *La organización del conocimiento y la resolución de problemas en Física*. Programa de Ayudas a la Investigación Educativa, 1987. Memoria de Investigación. CIDE-MEC, Madrid, 1989a.

- *En pos del significado. Una perspectiva radical del aprendizaje científico*. Programa de Ayudas a la Investigación Educativa, 1989. Madrid, CIDE-MEC, 1989b

- «Epistemología y didáctica de las ciencias. Un análisis de segundo orden». *Enseñanza de las Ciencias*, en prensa, 1990a.

- «Dependencia-Independencia de campo y educación científica». *Revista de Educación*, en prensa, 1990b.

- «Análisis de la influencia de la construcción de mapas conceptuales sobre la estructura cognitiva de estudiantes de Física». *Enseñanza de las Ciencias*, remitido y pendiente de aceptación, 1990c.

López Rupérez, F.; Brincones, I.; Garrote, R.; del Castillo, V. y Badenes J. «Observaciones sobre la didáctica de la cinemática en 2.º de BUP». *Bordón*, 244, 1982, pp. 450-456.

López Rupérez F. y López Rupérez, E. «Las nociones de trabajo y energía. Análisis conceptual y didáctico». *Bordón*, 249, 1983, pp. 497-506.

López Rupérez, F.; Palacios, C. y Sánchez, J. «Relation of field independence and test item format to student performance on written piagetian tests». *Journal of Research in Science Teaching*, en prensa, 1990a.

López Rupérez, F. y Palacios, C. «Problem-solving in Physics. Organization and Representation of Knowledge in good Problem Solvers and Poor Problem Solvers». *International Journal of Science Education*, remitido y pendiente de aceptación, 1990b.

- «Influence of Conceptual Mapping and Field Dependence-Independence on Problem-Solving in Physics». *Journal of Research in Science Teaching*, remitido y pendiente de aceptación, 1990c.

Matthews, G. P.; Brook, G. V. y Khan-Gandapur, T. H. «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), 1984a, pp. 169-177.

- «Cognitive structure determination as a tool in science teaching. Part 2: The measurement of Piaget-specific levels». *European Journal of Science Education*, 6(3), 1984b, pp. 289-297.

- «Cognitive structure determination as a tool in science teaching. Part 3: Results». *European Journal of Science Education*, 7 (3), 1985, pp. 263-279.

Mayer, R. E. *Pensamiento, resolución de problemas y cognición*. Barcelona, Paidós, 1985.

Moreira, M. A. «Concept maps as tools for teaching». *Journal of College Science Teaching*, 8, 1979, pp. 283-286.

- *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 de septiembre.

Moreira, M. A. y Takeco, G. S. «Mapas conceptuales como recursos instruccionales de la enseñanza de la Física». *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 1985, p. 14.

Nieda, J.; Díaz, M. V.; García, P.; Ortega, P.; Bonilla, I. y Aguirre de Cárcer, I. «El uso de los mapas conceptuales en la corrección de preguntas abiertas en Biología». *Enseñanza de las Ciencias*, 3(2), 1985, pp. 91-95.

Norman, D. A. y Rumelhart, D. E. *Exploration in cognition*. San Francisco, W. H. Freeman, 1975.

Novak, J. D. Understanding the learning processes and effectiveness of teaching methods in the classroom laboratory and field. *Science Education*, 60 (4), 1976, pp. 493-512.

- *Teoría y práctica de la educación*. Madrid, Alianza Universidad, 1982.

Novak, J. D. «Metalearning and metaknowledge strategies to help students learn how to learn», en L. H. T. West y A. L. Pines (Eds.) *Cognitive Structure and Conceptual Change*. Orlando, Academic Press, 1985.

- «Constructivismo humano. Un consenso emergente». *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 1988, pp. 213-223.

Novak, J. D.; Gowin, D. B. y Johansen, G. T. «The use of concept mapping and knowledge see mapping with junior high school science students». *Science Education*, 67 (5), 1983, pp. 625-645.

Novak, J. D. y Gowin, D. B. *Learning how to learn*. Cambridge, Cambridge University Press, 1984.

- Pozo, J. I. *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid, Visor, 1987.
- Preece, P. F. W. «Mapping Cognitive Structure: A comparison of methods». *Journal of Educational Psychology*, 68(1), 1976, pp. 1-8.
- «Exploration of semantic space: Review of research on the organization of scientific concepts in semantic memory». *Science Education*, 62(4), 1978, pp. 547-562.
- Reichenbach, H. *Experience and Prediction*. Chicago, University of Chicago Press, 1938. (Ver H. I. Brown, *La nueva filosofía de la ciencia*, Barcelona, Tecnos, 1988, cap. IX.)
- Reif, F. «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*, Hillsdale NJ, LEA, 1980.
- Reif, F. y Heller, J. I. «Knowledge structure and problem solving in Physics». *Educational Psychologist*, 17(2), 1982, pp. 102-127.
- Rumelhart, D. E. y Ortony, A. «The representation of knowledge in memory», en R. C. Anderson, R. F. J. Spiro y W. E. Montague (Eds.) *Schooling and the acquisition of knowledge*, Hillsdale, N. J. Lawrence Erlbaum, 1977.
- Ryle, G. *The concept of mind*. London, Hutchinson, 1949.
- Serramona, J. *Investigación y estadística aplicada a la educación*. Barcelona, CEAC, 1980.
- Shavelson, R. J. «Some aspects of the correspondence between content structure and cognitive structure in Physics instruction». *Journal of Educational Psychology*, 63(3), 1972, pp. 225-234.
- «Learning from Physics instruction». *Journal of Research in Science Teaching*, 10(2), 1973, pp. 101-111.
 - «Methods for Examining Representations of a Subject-Matter Structure in a Student's Memory». *Journal of Research in Science Teaching*, 11(3), 1974, pp. 231-249.
- Shavelson, R. J. y Stantopn, G. C. «Construct Validation: Methodology and Application to three Measures of Cognitive Structure». *Journal of Educational Measurement*, 12(2), 1975, pp. 67-85.
- Shuell, T. J. Knowledge representation, cognitive structure and school learning: A historical perspective». *Cognitive Structure and Conceptual Change*, 1985, pp. 117-129.
- Stewart, J. «Content and cognitive structure. Critique of assessment and representation techniques used by science education research». *Science Education*, 63 (3), 1979, pp. 395-405.
- «Techniques for Assessing and Representing Information in Cognitive Structure». *Science Education*, 64(2), 1980, pp. 223-235.

- Stewart, J.; Van Kirk, J. y Rowel, R. «Concept Maps: A Tool for Use in Biology Teaching». *The American Biology Teacher*, 41(23), 1979, pp. 171-175.
- Stewart, J. H. y Atkin, J. A. «Information processing Psychology: A promisor paradigm for research in science teaching». *Journal of Research in Science Teaching*, 19(4), 1982, pp. 321-332.
- Stuart, H. A. «Should concept maps be scored numerically?» *European Journal of Science Education*, 7(1), 1985, pp. 73-81.
- Sutton, C. R. «The Learner's Prior Knowledge: A Critical Review of Techniques for Probing its Organization». *European Journal of Science Education*, 62(4), 1980, pp. 547-562.
- Tisza, L. «The conceptual Structures of Physics». *Reviews of Modern Physics*, 35(1), 1963, pp. 151-185.
- Trho, M. P. «Relationships between Associative and Content Structure of Physics Concepts». *Journal of Educational Psychology*, 70(6), 1978, pp. 971-978.
- Vega, M. *Introducción a la psicología cognitiva*. Madrid, Alianza Editorial, 1984.
- West, L. H. T.; Fensman, P. J. y Garrand. «Describing the cognitive structures of learners following instruction in Chemistry», en L. H. T. West y A. L. Pines (Eds.) *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Orlando, Academic Press, 1985, pp. 29-48.
- White, R. «Interview protocols and dimensions of cognitive structure», en L. H. T. West y A. L. Pines (Eds.) *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Orlando, Academic Press, 1985, pp. 51-58.