

EL APRENDIZAJE DE LOS CONCEPTOS CIENTÍFICOS EN LOS NIVELES MEDIO Y SUPERIOR DE LA ENSEÑANZA

JOSE OTERO (*)

Una parte de la tarea a que se debe enfrentar el estudiante de la ciencia en los niveles medio y superior es la adquisición de los conceptos de la disciplina. Para algunos autores (Novak, 66, 77) esta es una tarea crucial. De hecho, dentro de la investigación educativa que se viene realizando en los últimos años en el área de las ciencias en estos niveles, existe un creciente interés por los problemas de aprendizaje de conceptos. Se estudia, tanto el aprendizaje de los conceptos científicos como la función de las preconcepciones con que frecuentemente los estudiantes inician el aprendizaje de estas materias.

Los conceptos científicos con que trata el estudiante en este nivel (p. ej. energía libre, campo eléctrico, mitosis, etcétera) tienen características que los diferencian cualitativamente de otros conceptos que, con frecuencia, reciben la atención de los investigadores en psicología (como podrían ser taza, gorrión o «figura pequeña de color rojo y forma circular»). Por esta razón la transposición de los resultados de algunos estudios psicológicos al terreno educativo no es sencilla.

Hay otra limitación en las aplicaciones de los estudios psicológicos a la práctica educativa que debe apuntarse aquí. Los resultados de la investigación en psicología, en este área, son con frecuencia controvertidos. La falta de paradigmas se manifiesta en la provisionalidad de las construcciones teóricas, en sus limitaciones para la explicación de los datos experimentales y en la coexistencia de alternativas reivindicando una explicación adecuada de los hechos (1). Por tanto, las ideas que se presentan a continuación deben considerarse como caminos ten-

(*) Departamento de Física. Universidad de Alcalá.

(1) Un ejemplo que ilustra estas afirmaciones es el siguiente. En el año 1972 Craik y Lockhart sugerían que la persistencia de una traza en la memoria es función de la profundidad a que se procese. En el año 1979 se aseguraba que «...los niveles de procesamiento como marco conceptual para la investigación de la memoria humana han disfrutado de una gran popularidad desde su aparición en 1972. Han impulsado literalmente cientos de experimentos...» (Cermak y Craik, 1979, página 11). Pero en el año 1981, en un trabajo de revisión sobre «Aprendizaje humano y memoria» ya se afirma que «...Por todas estas razones, el marco de niveles de procesamiento ha sido generalmente abandonado...» (Wickelgren, 81, página 41). Sin embargo, en la misma publicación, en la revisión de 1984 sobre «Aprendizaje humano y memoria», realizada por otros autores (Horton y Mills, 84), se afirma de nuevo que «...el marco de niveles o profundidad de procesamiento introducido por Craik y Lockhart (1972) continúa estimulando importantes investigaciones» (página 365).

tativos hacia una mejor comprensión de la adquisición de los conceptos científicos y de ninguna forma como resultados consolidados.

El propósito de este artículo es presentar una revisión de algunos estudios sobre la adquisición de conceptos que tienen relevancia relativamente directa para la práctica educativa. Los estudios sobre el aprendizaje de conceptos son muy numerosos y no se intenta hacer aquí una síntesis comprensiva. La selección que se ha efectuado está fundada en el carácter básico (sobre todo desde el punto de vista histórico) que tiene uno de estos trabajos (el de Bruner y colaboradores), en la aplicabilidad de otros para la organización de la enseñanza en los niveles medio y superior (la teoría de la instrucción de Gagné y la teoría de la asimilación de Ausubel) y, finalmente, en la importancia que tienen las teorías de procesamiento de la información como enfoque dominante en la investigación actual en psicología cognitiva.

El artículo se organiza en dos partes. En la primera se describen aquellos aspectos de las teorías citadas que tienen relevancia para la comprensión del fenómeno que nos ocupa. La descripción es obligadamente sintetizada. En la segunda parte se presentan algunas conclusiones de las teorías en relación con el aprendizaje de conceptos científicos. Finalmente se resumen los puntos más importantes.

I. LAS TEORIAS

El trabajo de J. S. Bruner

J. S. Bruner en diferentes escritos ha hecho aportaciones importantes para la comprensión del proceso de adquisición de conceptos, aunque a un nivel de generalidad que hacen su aplicación a la enseñanza de las materias escolares considerablemente trabajosa.

Se incluyen aquí los aspectos más importantes de sus ideas sobre el proceso de adquisición de conceptos —categorización— por dos razones fundamentales: a) el trabajo de Bruner sirve para introducir terminología básica en torno al tema y adquirir herramientas conceptuales fundamentales para describir posteriores enfoques del problema; b) se introduce aquí la conceptualización de «concepto» más extendida dentro de la psicología educativa (como clase de objetos o acontecimientos con características comunes), lo cual representa el inicio de una línea de estudio con serias limitaciones para la comprensión de la adquisición del tipo de conceptos que nos ocupan.

El proceso de categorización

El primero de los estudios sobre aprendizaje de conceptos que consideramos es el clásico estudio de Bruner, Goodnow y Austin (56) sobre el proceso de categorización.

Categorizar se define como «hacer equivalentes cosas que se pueden discriminar como diferentes, agrupar los objetos y acontecimientos que nos rodean en clases y responder a ellos en función de su pertenencia a una clase más que en función de su singularidad» (*op. cit.*, página 1). Esta clase de objetos o aconte-

tecimientos constituye precisamente un concepto o categoría. «Planta fanerógama», por ejemplo, sería una categoría formada por las plantas con raíz, tallo y hojas y que además tienen flores (y por tanto frutos y semillas).

Categorizar es una actividad importante por varias razones. En primer lugar, la categorización reduce la complejidad del ambiente evitando el tener que tratar individualmente con objetos o acontecimientos al agruparlos en clases. En segundo lugar sirve para identificar objetos y acontecimientos; identificarlos consiste precisamente en colocarlos en una clase determinada. En tercer lugar, y en virtud de las características anteriores, la categorización evita el aprendizaje constante. En cuarto lugar las categorías sirven para guiar la actividad instrumental a través de las relaciones que se establecen entre clases. En quinto lugar, y como ya se acaba de insinuar en el punto anterior, la categorización permite ordenar y relacionar entre sí clases de objetos o acontecimientos. Estas clases interrelacionadas constituyen lo que Bruner llama sistemas de codificación.

Se distinguen tres tipos de conceptos o categorías: afectivas, funcionales y formales. Las primeras corresponden a conjuntos de cosas o acontecimientos colocados en la misma clase por evocar una misma respuesta afectiva. Para nuestros propósitos estas categorías tienen una menor importancia. En el segundo tipo, las funcionales, el criterio para formar la clase de equivalencia es la función que cumplen los objetos o acontecimientos. Y por fin, las categorías formales «se construyen mediante el acto de especificar los atributos intrínsecos exigidos a cada miembro de la clase» (*op. cit.*, página 5).

Un atributo es simplemente, cualquier característica discriminable de un objeto o acontecimiento que pueda variar de uno a otro. Se llaman atributos «definitorios» a aquellos que sirven para decidir la pertenencia o no de un miembro a una categoría, de acuerdo con un enunciado externo («oficial») al que aprende o usa la categoría.

La categorización se puede llevar a cabo a nivel perceptivo, cuando se clasifica un estímulo sensorial dentro de una categoría que ya posee el individuo, o conceptual, cuando se efectúa la operación de clasificación con objetos o casos cuyos atributos son menos inmediatos (como los que usa un estudiante para decidir, por ejemplo, si un proceso termodinámico que se describe en un problema es reversible o no).

Los sistemas de codificación

Bruner se ha referido también a sistemas formados por categorías, los «sistemas de codificación», que se definen como,

«...un conjunto de categorías no específicas relacionadas contingentemente. Es la forma en que una persona agrupa y relaciona la información sobre su mundo y está constantemente sujeta a cambio y reorganización» (Bruner, 74, página 222).

Este concepto gana un significado más claro al considerar las formas en que un individuo puede «ir más allá de la información que se le proporciona».

El reconocer un objeto o un acontecimiento como perteneciente a una cierta categoría, a partir del examen de una serie de atributos, lleva a conclusiones que

van más allá de la información obtenida inicialmente: se pueden atribuir al objeto o acontecimiento todas las características de la clase a que pertenece, aun cuando no hubiesen sido percibidas directamente en él. Un zoólogo, al identificar un ave como perteneciente a una cierta especie por sus características de forma, tamaño y plumaje puede atribuirle de inmediato características relacionadas con sus formas de reproducción, por ejemplo, sin haberlas observado directamente. Otra manera de ir más allá de la información disponible es a través del conocimiento de relaciones formales o probabilistas (de códigos formales o probabilistas) entre las cosas o los acontecimientos. El conocer la velocidad de un coche que rueda por una carretera, su peso y el coeficiente de rozamiento entre el caucho de las ruedas y el suelo permite, a través del uso de códigos formales, ir más allá de esa información y disponer también del recorrido mínimo de frenado.

En resumen:

«...mantenemos que uno va más allá de la información que se le proporciona en virtud de que es capaz de colocar los datos presentes en un sistema de codificación genérico y que esencialmente se extrae información adicional del sistema de codificación (Bruner, 74, página 224).

Una de las consecuencias importantes del papel que juegan los sistemas de codificación es la importancia que Bruner concede al concepto de «estructura» de una disciplina en la enseñanza. Entender la estructura de una disciplina equivale a que el alumno desarrolle sistemas de codificación con las ventajas y funciones apuntadas anteriormente porque,

«Captar la estructura de un tema es comprenderlo de forma que permita relacionar muchas otras cosas con él de manera significativa. Comprender la estructura, en resumen, es comprender cómo están relacionadas las cosas» (Bruner, 63, página 7).

La teoría de la instrucción de R. M. Gagné

Jerarquías de aprendizaje

La teoría de la instrucción propuesta por Gagné ha recibido considerable atención en la literatura educativa. El modelo se expone fundamentalmente en las sucesivas ediciones de su obra *Las condiciones del aprendizaje* (1965, 1970, 1977) aun cuando Gagné haya escrito muchos otros artículos y libros exponiendo aspectos de su trabajo.

Las ideas fundamentales del modelo pueden resumirse en las propias palabras de Gagné, aunque hay aspectos que revisó después de escribir esto:

«1. Existen *ocho clases diferentes de aprendizaje*, lo cual significa que hay (al menos) ocho clases distintas de procesamiento intelectual del que hay que dar cuenta al analizar los acontecimientos varios a los que nos referimos cuando hablamos de 'aprendizaje', y ocho clases diferentes de capacidades inferidas que resultan de estos acontecimientos.

2. Se distingue entre *condiciones externas e internas del aprendizaje*: las condiciones externas incluyen la disposición y ordenamiento temporal de

los acontecimientos estímulo, así como de las comunicaciones al que aprende. Los acontecimientos internos se refieren a estados normales como atención, motivación y, el más importante, el recuerdo de las capacidades subordinadas aprendidas previamente.

3. La idea más perfilada teóricamente es, quizá, que el *aprendizaje de cualquier capacidad nueva*, en su sentido ideal, requiere el *aprendizaje previo de capacidades subordinadas* que están involucradas en la nueva capacidad. En concreto, el aprendizaje de reglas de nivel superior requiere el aprendizaje previo de reglas más simples; el aprendizaje de reglas requiere el aprendizaje previo de los conceptos relevantes; el aprendizaje de conceptos requiere el aprendizaje previo de la discriminación; etcétera.

4. Cualquier tarea terminal que deba adquirirse puede analizarse como progresión de aprendizajes subordinados, según lo que se conoce como *jerarquía de aprendizaje*. Se predice que cada par de capacidades subordinada-supraordenada que se identifiquen de esta forma tendrá una relación de alta 'transferencia' positiva de la capacidad 'inferior' o la 'superior'. Es importante notar, sin embargo, que cada una de estas capacidades tiene el carácter de destreza intelectual (algo que el que aprende puede hacer) y *no* de información verbal. Se reconoce que esta última interviene en el proceso de aprendizaje, pero no se representa en las jerarquías de aprendizaje. La teoría, desde luego, está incompleta en este aspecto.

5. Un punto teórico adicional que se propone es que se puede dar cuenta del desarrollo intelectual primordialmente como resultado de los *efectos acumulativos del aprendizaje* de destrezas individuales, junto con el mecanismo de transferencia del aprendizaje. Desde este punto de vista los 'estadios' de desarrollo intelectual no están relacionados con la edad (excepto para edades muy tempranas, por supuesto), sin más bien con el grado y clase de aprendizaje que haya tenido lugar anteriormente» (Sahakian, 76, página 4).

Como se acaba de apuntar, Gagné revisó el modelo entre otras razones con objeto de que la teoría no estuviese «incompleta en este aspecto» (el aprendizaje de información verbal y otros tipos de aprendizaje). En la última edición de *The Conditions of Learning* (77) se distinguen cinco tipos de capacidades que pueden adquirirse mediante el aprendizaje:

1. *Destreza intelectual*: Capacidad para usar símbolos, por ejemplo distinguiendo, clasificando, analizando o relacionando objetos, acontecimientos u otros símbolos. Este tipo de capacidad era la que Gagné trató casi con exclusividad en las primeras versiones de su modelo. Los ocho tipos de destrezas intelectuales se pueden representar como una jerarquía desde la más simple a la más compleja, siendo cada una prerrequisito para la que le sucede. Las formas más complejas y, por tanto, más relevantes para la práctica educativa se incluyen en la Figura 1.

2. *Información verbal*: Capacidad para enunciar algún tipo de información. Ejemplo de este tipo de capacidad sería la que demostraría un alumno que diese el símbolo del estroncio o enunciase la 2.^a Ley de Newton cuando el profesor se lo solicitase.

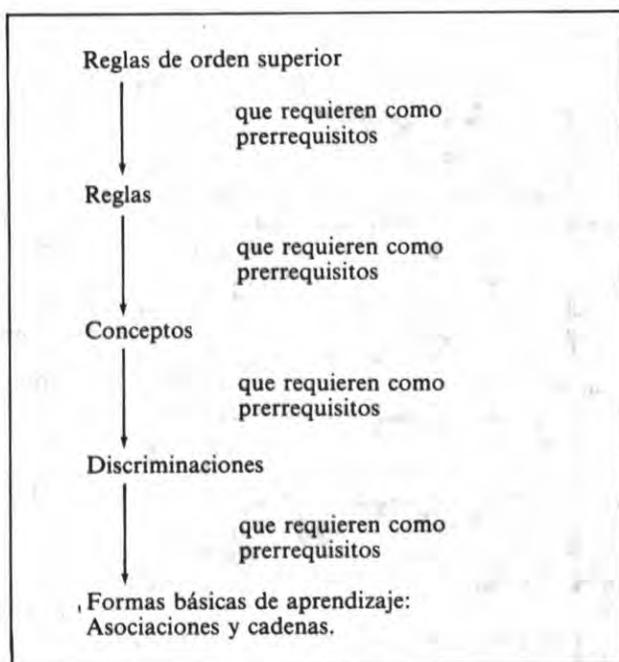


Figura 1. Jerarquía de destrezas intelectuales.

3. *Estrategias cognitivas*: Capacidad para manejar y organizar los propios procesos de pensamiento. Incluye por ejemplo estrategias para la codificación de información, para el recuerdo (reglas mnemónicas) y para la resolución de problemas. Un ejemplo de éstas últimas sería el razonamiento cualitativo sobre una versión simplificada de un problema de física, antes de aplicar principios cuantitativos que conduzcan a su solución (2).

4. *Destrezas motoras*: Capacidad para realizar ciertos movimientos coordinados con un fin. Por ejemplo, las involucradas en la realización de una disección.

5. *Actitudes*: Consisten en que el individuo manifiesta ciertas tendencias producto de «estados mentales que influyen sus elecciones en cuanto a acciones personales». Por ejemplo, la actitud de respeto por el medio ambiente.

Gagné considera que la adquisición de conceptos se manifiesta en una capacidad para manejar símbolos. Los conceptos, pues, son capacidades clasificables como destrezas intelectuales.

(2) Una estrategia que, según Larkin (79), diferencia a los expertos de los principiantes en la resolución de problemas.

Destrezas intelectuales

Las destrezas intelectuales se organizan en una jerarquía de complejidad creciente siendo las destrezas pertenecientes a los niveles inferiores prerequisite para las superiores (Figura 1).

Gagné considera que el aprendizaje se fundamenta en formas básicas: aprendizaje de señales, de estímulo-respuesta, encadenamiento y asociación verbal. El aprendizaje de señales es prerequisite para el de estímulo-respuesta y éste para el encadenamiento o la asociación verbal. Se pueden encontrar detalles sobre estas capacidades básicas en los escritos de Gagné (77, capítulo 4). Puesto que un estudio detallado no es directamente relevante para los propósitos que se persiguen aquí, se consideran solamente las destrezas que siguen inmediatamente en la jerarquía: discriminaciones, conceptos y reglas.

Un individuo adquiere la capacidad que se denota por «discriminación» cuando es capaz de diferenciar objetos o acontecimientos que inicialmente constituían un simple conglomerado de estímulos. Una vez que se ha aprendido a discriminar una cosa —un conjunto de estímulos— se pueden formar clases con conjuntos de cosas. La capacidad que se adquiere en este último caso es lo que se llama un concepto.

El aprendizaje de conceptos

En *The Learning of Principles* (Gagné, 66), revisa las ideas de «concepto» expuestas por diversos autores. Para Berlyne (65) aprender un concepto es «formar una clase de equivalencia de situaciones estímulo que comparten ciertas características y que son diferentes en otros aspectos, y responder de la misma manera a todos los miembros de la clase». Para Kendler (64) aprender un concepto consiste en «adquirir una respuesta común a estímulos diferentes». Para Osgood (53) un concepto es un proceso «mediador». Carroll (64) define un concepto como una abstracción a partir de una serie de experiencias que define una clase de objetos o acontecimientos.

A partir de las definiciones anteriores Gagné propone las siguientes características de la idea de «concepto»:

- a) Un concepto es un proceso mental que inferimos.
- b) El aprendizaje de un concepto requiere la discriminación de objetos estímulo (distinguiendo casos «positivos» y «negativos»).
- c) La actuación que demuestra que se ha aprendido un concepto es que el que aprende sea capaz de clasificar un objeto en una clase determinada.

De acuerdo con esto, un concepto queda definido como «un proceso que inferimos que nos permite clasificar objetos».

La idea anterior de concepto, sin embargo, corresponde a lo que Gagné llama más tarde «concepto concreto» (3), es decir, «una capacidad que hace posible que un individuo identifique un estímulo como miembro de una clase que

(3) Tal como se define en Gagné (77), página 111, o en Gagné y Briggs (74), página 40.

tiene algunas características en común, aun cuando tales estímulos puedan diferir entre sí notablemente».

Existe además otro tipo de conceptos diferentes de los concretos. «Muchos conceptos deben ser aprendidos no por observación directa (contrastando ejemplos concretos) sino por definición...» (Gagné 66, página 89). Estos conceptos se definen como «una regla que clasifica objetos o acontecimientos» (Gagné, 77, página 129). El criterio de adquisición del concepto por definición es similar al de la adquisición de un concepto concreto: «en esencia, la prueba de que el concepto [por definición] se ha aprendido se desprende de la *demonstración* de que la definición se puede usar para clasificar casos o ejemplos» (*op. cit.*, página 132). Entre los conceptos por definición, es decir «reglas usadas para clasificar objetos o acontecimientos» Gagné incluye explícitamente conceptos físicos tales como «fuerza, masa, densidad y energía» (*op. cit.*, página 135).

El aprendizaje de un concepto por definición implica, en lo que se refiere a las condiciones internas, la posibilidad de acceder en la memoria a los conceptos componentes representados en la definición del concepto que se debe aprender, junto con la capacidad de representarse la sintaxis del enunciado que expresa la definición. Esto se consigue a través de las condiciones externas que consisten en la presentación del enunciado. Las palabras actúan como pista para poder acceder a los conceptos componentes en la memoria del que aprende.

Gagné define por otra parte «regla» como «una capacidad inferida que permite a un individuo responder a una clase de situaciones estímulo con una clase de actuaciones». En general «una regla está compuesta por varios conceptos» (Gagné, *op. cit.*, página 134) y se puede representar por un enunciado verbal aun cuando el aprender la regla no sea lo mismo que aprender el enunciado verbal. El individuo posee la regla como una capacidad cuando identifica los conceptos componentes y demuestra que se relacionan entre sí de la manera particular que especifica la regla.

La teoría del aprendizaje de Ausubel

Ausubel ha presentado su teoría en varias obras (1963, 1968, 1978), y en su desarrollo ha tenido aportaciones también de otros autores (Novak, 1977). Al desarrollar su teoría, Ausubel partió de la convicción de que la teoría del aprendizaje es relevante para orientar la enseñanza en la escuela. La teoría de la asimilación, propuesta por Ausubel, está dirigida precisamente a la explicación de algunos aspectos del aprendizaje complejo que tiene lugar en las situaciones escolares.

Los factores del rendimiento escolar

Existen múltiples factores que parecen incidir en el aprendizaje escolar. Ausubel los clasifica en intrapersonales y situacionales, apuntando los siguientes:

A. Intrapersonales

1. *Variables relacionados con la estructura cognitiva:* propiedades sustantivas y de organización de los conocimientos adquiridos previamente en un área determinada...

2. *Desarrollo intelectual*: la clase particular de preparación que viene dada por el estadio de desarrollo intelectual del que aprende...

3. *Capacidad intelectual*: el grado relativo de aptitud escolar general (inteligencia general o nivel de competencia)...

4. *Factores motivacionales y actitudinales*: deseo por conocer, necesidad de logros y autoafirmación, e involucración del ego (interés) en una materia determinada...

5. *Factores de personalidad*: diferencias individuales en el nivel y clase de motivación, ajuste personal, otras características personales y nivel de ansiedad...

B. Situacionales

1. *Práctica*: frecuencia, distribución, método y condiciones generales...

2. *Disposición de los materiales de instrucción*: cantidad, dificultad, escalonamiento, lógica subyacente, secuencia, ritmo de presentación y uso de ayudas a la instrucción.

3. *Ciertos factores sociales y de grupo*: clima en la clase, cooperación y competición, estratificación social...

4. *Características del profesor*: capacidades cognitivas, conocimiento de la materia, competencia pedagógica, personalidad y comportamiento.
(Ausubel y otros, 78, páginas 29-30).

Aunque Ausubel se ocupa de todas las variables anteriores, su teoría incide especialmente en el primer bloque de las intrapersonales: variables relacionadas con la estructura cognitiva.

Tipos de aprendizaje

Ausubel plantea inicialmente dos distinciones fundamentales en los tipos de aprendizaje que tienen lugar en el aula: distingue por un lado entre aprendizaje receptivo y aprendizaje por descubrimiento, y por otro entre aprendizaje memorístico y aprendizaje significativo. Este último es precisamente un concepto crucial de su teoría.

Ausubel considera que el aprendizaje significativo tiene lugar cuando

«...ideas expresadas simbólicamente son relacionadas de modo no arbitrario, sino sustancial (no al pie de la letra) con lo que el alumno ya sabe, en particular con algún aspecto relevante de su estructura de conocimientos (por ejemplo, una imagen, un símbolo que ya tenga significado, un concepto o una proposición» (Ausubel y otros, *op. cit.*, página 41).

Cuando no se dan estas condiciones el aprendizaje es memorístico. El alumno crea conexiones arbitrarias entre el nuevo material y las ideas existentes en la memoria.

Tanto Ausubel como Novak llaman la atención sobre el hecho de que los continuos aprendizaje significativo-aprendizaje memorístico y aprendizaje recep-

tivo-aprendizaje por descubrimiento pueden representarse en dimensiones ortogonales. Es decir, *no siempre* el aprendizaje por descubrimiento es significativo o el aprendizaje receptivo es memorístico. Puede haber, y de hecho hay, *aprendizaje receptivo significativo*. La teoría de la asimilación se ocupa de esta clase de aprendizaje.

Debe hacerse notar que, en los niveles a que nos estamos refiriendo, el alumno adquiere la mayor parte de los conceptos científicos mediante el aprendizaje receptivo, aun cuando la corriente de sobrevaloración del aprendizaje por descubrimiento pueda haber inducido en algún momento a pensar lo contrario.

Las condiciones del aprendizaje significativo

El aprendizaje significativo presupone, por una parte, material con posibilidad de ser relacionado de manera no arbitraria y no tomándolo al pie de la letra, con «...ideas que estén dentro de las posibilidades del aprendizaje humano» (Ausubel y otros, *op. cit.*, página 43). Ausubel llama a esto significatividad lógica. Además es necesaria la disponibilidad de ideas pertinentes en la estructura cognitiva del que aprende. Estas dos condiciones convierten el material en «potencialmente significativo».

Para que se dé realmente el aprendizaje significativo es necesaria una última condición: la voluntad o disposición para el aprendizaje significativo por parte del que aprende, es decir, la disposición para relacionar de manera no arbitraria la información que se le presenta con lo que ya sabe.

El conjunto de condiciones que se acaba de enumerar, conducentes al aprendizaje significativo, se resumen, junto con algunos ejemplos, en la Figura 2.

Tipos de aprendizaje significativo

La esencia del aprendizaje significativo, tal como se ha indicado, es la conexión, de manera no arbitraria, entre las nuevas ideas que se presentan al alumno (proposiciones, conceptos, hechos) y las existentes en la estructura cognitiva del que aprende. Este es el proceso de *inclusión*. Según sea esta conexión podemos distinguir diversos tipos de aprendizaje:

a) *Aprendizaje subordinado:*

Si los conceptos nuevos, o las proposiciones que se introducen por primera vez, se conectan con ideas más generales decimos que se establece una relación de *subordinación*. Dentro de este tipo de relación podemos distinguir, a su vez, dos subtipos: *inclusión derivativa*, cuando la información nueva es simplemente un ejemplo concreto de las ideas ya establecidas en la estructura cognitiva del que aprende, e *inclusión correlativa*, cuando el nuevo material sirve para ampliar o modificar la idea, ya establecida en la memoria que incluye a la anterior. Supongamos que un alumno tiene un concepto de mamífero como animal exclusivamente terrestre, que posee pelo, que se gesta en el interior de la madre, etcétera. Puede aprender que un conejillo de indias es un mamífero mediante *inclusión derivativa*. Sin embargo, aprenderá que una ballena azul es también un mamífero, mediante *inclusión correlativa* puesto que ello implica modificar la

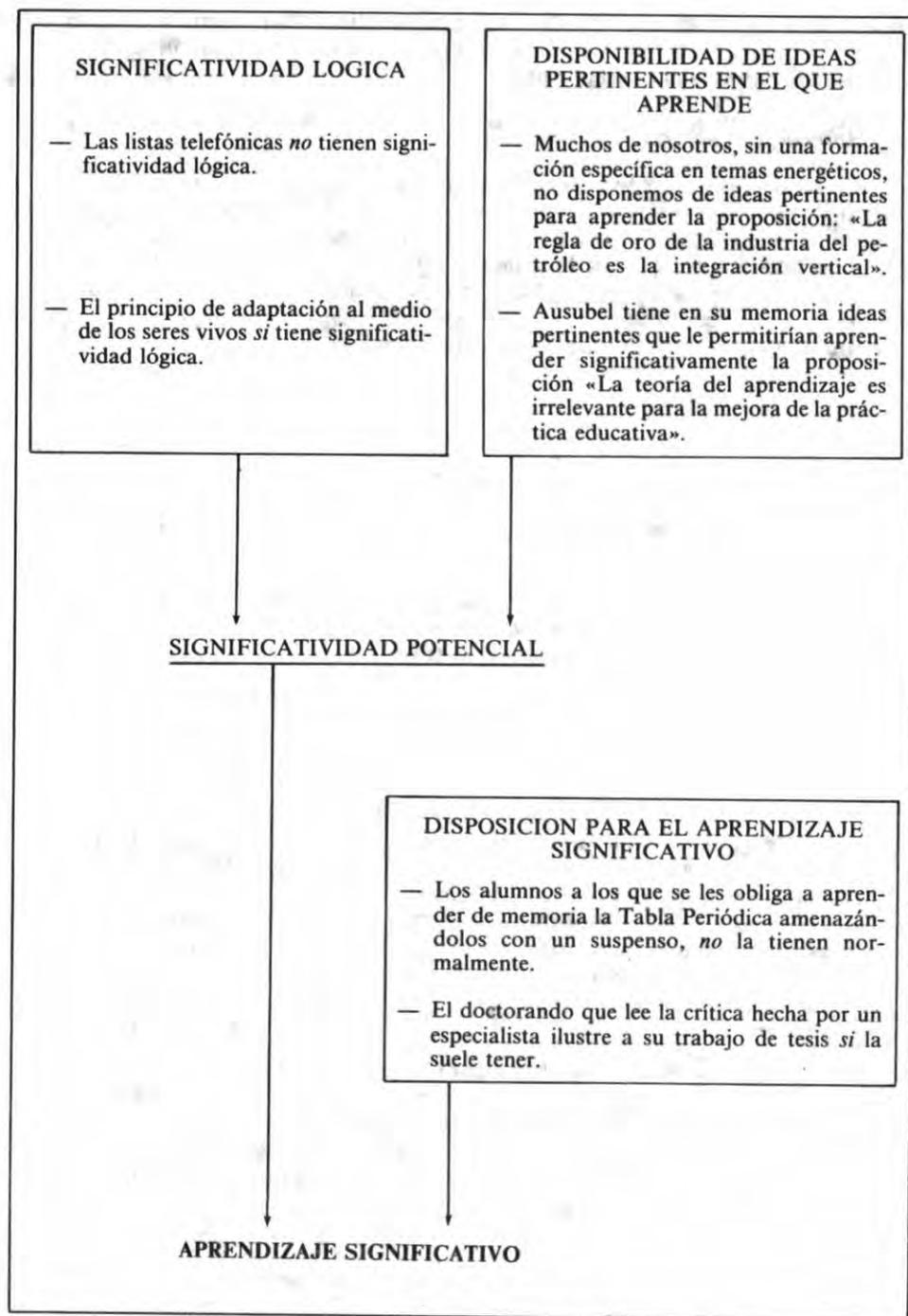


Figura 2. Condiciones para el aprendizaje significativo.

idea establecida —de mamífero como animal exclusivamente terrestre— que sirve para englobar a la nueva información presentada, es decir, modificar los atributos definitorios del concepto inclusor.

b) *Aprendizaje supraordenado:*

Cuando un nuevo concepto (4) o proposición que se presenta al que aprende, sirve para que varias de las ideas ya establecidas queden englobadas *bajo* la nueva presentada, se dice que ha tenido lugar un *aprendizaje supraordenado*. Un alumno puede aprender que la suma de los ángulos de un cuadrado es igual a 360; igualmente para un rectángulo, y lo mismo para un rombo. El profesor puede presentarle a continuación la proposición: «la suma de los ángulos de un cuadrilátero es igual a 360», que el alumno aprenderá de manera supraordenada.

c) *Aprendizaje combinatorio:*

Si la relación entre ideas nuevas y antiguas no es ni de subordinación ni de supraordenación, el aprendizaje se llama *combinatorio*. Un alumno puede aprender la definición de «producto escalar de dos vectores» en términos de los conceptos «escalar», «módulo de un vector», «coseno del ángulo formado por dos vectores», etcétera.

Ausubel aboga por el aprendizaje *subordinado*, siempre que sea posible. Para ello es recomendable usar *organizadores previos* y seguir en el orden de aprendizaje el principio de *diferenciación progresiva*. A estos dos conceptos nos vamos a referir a continuación.

Los organizadores previos

Los organizadores previos son:

«materiales introductorios, apropiadamente pertinentes e inclusivos, con el máximo de claridad y estabilidad. Los organizadores se introducen normalmente antes del material de aprendizaje en sí y se usan para facilitar que se establezca una disposición para el aprendizaje significativo. Los organizadores previos ayudan al que aprende a reconocer en los nuevos materiales elementos que se puedan aprender de manera significativa relacionándolos con aspectos de su estructura cognoscitiva que sean especialmente relevantes.

Para que funcionen adecuadamente con una amplia gama de alumnos, cada uno con una estructura cognoscitiva que es, en cierta medida, idiosincrática, y para que puedan proporcionar ideas de anclaje a un nivel supraordenado, los organizadores se presentan a mayores niveles de abstracción, generalidad e inclusividad que el nuevo material que se debe aprender» (Ausubel y otros, *op. cit.*, página 171).

(4) Ausubel, Novak y Hanesian (78), definen concepto como «objetos, sucesos, situaciones o propiedades que poseen atributos definitorios comunes y que se designan en una cultura dada por un signo o un símbolo convenido. Casa, triángulo, guerra y verdad son unos cuantos de los conceptos culturalmente aceptados que usamos» (página 89).

La función de los organizadores es facilitar la conexión de las ideas nuevas que se presentan al alumno con las que ya existen en su estructura cognitiva. Por ello han sido llamados también «puentes cognitivos».

La razón fundamental en que se apoya la conveniencia del uso de los organizadores previos es, evidentemente, la necesidad de que el alumno disponga de elementos en su estructura cognoscitiva con los que conectar las nuevas ideas que se le presentan para ser aprendidas.

El diseño adecuado de organizadores previos presupone el conocer, además del material que se va a presentar al alumno, las ideas fundamentales ya establecidas en la estructura cognitiva del que aprende. Se trata de conseguir una fundamentación adecuada de ambos extremos de los puentes cognitivos en el nuevo material y en la memoria del que aprende.

Es de notar la importancia que los organizadores previos pueden tener en el aprendizaje de disciplinas como las ciencias experimentales o las matemáticas, en las cuales los conceptos que se le presentan al alumno están muchas veces alejados del conjunto de ideas fundamentales con que el alumno se aproxima al aprendizaje de estas materias. Al no efectuar una conexión adecuada entre las nuevas ideas —«científicas»— y las preconcepciones del que aprende —«precientíficas o de sentido común»— estas últimas siguen coexistiendo con las primeras, o impidiendo un adecuado aprendizaje de ellas.

La diferenciación progresiva

De acuerdo con las ideas que se acaban de presentar, el aprendizaje significativo se facilita cuando se introducen en primer lugar ideas muy generales e inclusivas que más tarde sirven para subsumir información más concreta. De esta manera, un concepto muy general adquirido al comienzo del proceso de aprendizaje se modifica gradualmente adquiriendo nuevos significados —incorporando nuevos atributos— que lo *diferencian progresivamente*. Así, por ejemplo, un alumno puede iniciar el aprendizaje de «Trabajo», en Física, con un concepto poco diferenciado, próximo a la idea de sentido común: se hace mucho trabajo al empujar un mueble en un suelo rugoso, se hace trabajo al sostener algo pesado aunque no lo estemos desplazando, se hace poco trabajo al empujar un trineo en una pista de hielo, las máquinas hacen trabajo, etcétera. A partir de estas ideas se puede ir diferenciando el concepto de trabajo, introduciendo nuevos atributos que lo hagan más preciso (no se hace trabajo cuando no se recorre una trayectoria, el trabajo se puede cuantificar multiplicando el espacio recorrido por la componente de la fuerza en la dirección del camino, etcétera).

En esencia, por tanto, Ausubel recomienda que la enseñanza comience por la presentación de conceptos poco diferenciados, o aprovechando los que ya posee el alumno, y se mueva hacia conceptos más precisos, con mayor número de atributos relevantes, como suelen ser los que integran las disciplinas escolares.

Consecuencias para el diseño de materiales de enseñanza

Ausubel incluye en su obra algunas recomendaciones para el diseño adecuado de materiales de enseñanza, es decir, para mejorar su significatividad poten-

cial. Entre estas recomendaciones se podrían destacar las siguientes como más directamente ligadas a los principios de la teoría de la asimilación (Ausubel, 68, pág. 329):

1) Estimular «un enfoque activo, crítico, reflexivo y analítico por parte del alumno, alentándolo a reformular las ideas presentadas en términos de su propio vocabulario, sus propias experiencias y su estructura de ideas».

La recomendación se desprende de la importancia que se concede al aprendizaje *significativo*.

2) El contenido de la materia que se enseña debe seleccionarse y ordenarse «en torno a los principios que posean las cualidades explicativas e integradoras más amplias y generales».

Estas ideas proporcionarán una base sobre la que será posible conectar de forma no arbitraria las nuevas ideas, más concretas, que se le presenten al que aprende, favoreciendo así el aprendizaje por inclusión.

3) Organizar los contenidos de acuerdo con los principios de diferenciación progresiva y reconciliación integradora.

Se trata de presentar inicialmente conceptos poco diferenciados —no en su forma final y pulida, como suele hacerse normalmente— para ir aproximándose gradualmente a su formulación final «correcta».

Ausubel describe el principio de reconciliación integradora «como de espíritu y enfoque opuestos a la difundida práctica entre los escritores de libros de texto, de departamentalizar y separar ideas o temas particulares dentro de sus respectivos capítulos o subcapítulos» (78, página 186). Se trata de presentar el material de tal forma que se pongan de manifiesto las relaciones existentes entre los diversos conceptos, sus similitudes y sus diferencias, huyendo de la compartimentalización excesiva. La recomendación tiene su justificación en la importancia que la teoría de la asimilación concede a la conexión entre ideas como base del aprendizaje significativo.

4) Emplear los organizadores apropiados. Lo cual, como hemos indicado, exige un conocimiento previo de las ideas que ya posee la persona que aprende.

Enfoque de procesamiento de la información

Las teorías que se agrupan bajo el título de «procesamiento de la información» tratan de la forma en que se almacena información en la memoria, de las transformaciones que sufre esta información y de la forma en que se puede recuperar para usarla en el nuevo aprendizaje o en la resolución de problemas. El procesamiento de la información se lleva a cabo en los sistemas de memoria: almacén de información sensorial, memoria a corto plazo (MCP) y memoria a largo plazo (MLP).



Figura 3. Sistemas de memoria.

En los cuadros adjuntos (tomados de Stewart y Atkin, 82) se sintetizan las características más importantes de estos tres sistemas.

Características principales del Almacén de información sensorial

- a. Mantiene información sensorial detallada durante un período breve de tiempo: 0.1-0.5 seg.
- b. Es una réplica precisa y completa del *input* ambiental, mucho más detallada que la información que llega a la MCP.
- c. No hay posibilidad de repaso.
- d. Es un almacén con limitación temporal y por tanto transitorio.
- e. Tiene funciones en el procesamiento de percepciones, en el reconocimiento de pautas (*pattern recognition*) y en la extracción de características o rasgos.

Características principales de la MCP

- a. Mantiene la información de unos cuantos segundos hasta unos cuantos minutos; es un almacén transitorio de información.
- b. Recibe información (del almacén de información sensorial) que ha sido ya codificada por el sistema de reconocimiento de pautas; retiene la interpretación inmediata de los acontecimientos.
- c. Es un almacén de información limitado; solamente puede mantener 7 ± 2 bloques (el número mágico de Miller, 56).
- d. Es el lugar en donde se almacena la información mientras uno intenta organizarla y almacenarla en la MLP.
- e. Funcionalmente parece tener dos aspectos:
 1. Una «caja de resonancia» donde se pierde la información rápidamente si no se repasa...
 2. Una «memoria de trabajo» que no solamente permite que el nuevo material entre en la MLP (repaso integrador), sino que probablemente desempeña funciones en el pensamiento, es decir, en las ocasiones en que se «saca» información de la MLP para «trabajar» sobre ella.
- f. Procesa la información de forma seriada.
- g. Permite que la información llegue de manera más o menos automática, aunque los procesos controlados conceptualmente (*conceptually driven*) son responsables frecuentemente de la extracción de información de los *input* ambientales.

Caraterísticas principales de la MLP

- a. Tiene una capacidad de almacenamiento permanente y esencialmente ilimitada.
- b. Son necesarios procedimientos de búsqueda para recuperar la información de la MLP...
- c. Se requiere atención para la transición desde la MCP.

Un estudio detallado del enfoque de procesamiento de la información puede encontrarse en un buen número de obras sobre el tema (p. ej. Lindsay y Norman, 77; Anderson, 80). El propósito que se persigue aquí es exponer, de manera muy resumida, algunas conclusiones de estas teorías con relevancia para la comprensión del proceso de adquisición de conceptos científicos. En particular se tratará de la teoría del esquema y del concepto de profundidad de procesamiento.

La teoría del esquema

Como se ha apuntado, el alumno de los niveles medio y superior adquiere la mayoría de los conceptos científicos por medio del aprendizaje receptivo y, con mucha frecuencia, a través del material impreso. Pasando por alto el tránsito del almacén sensorial a la memoria a corto plazo que, para nuestros propósitos, es menos relevante, el primer proceso de interés es el tránsito de la MCP a la MLP.

El alumno ha leído en su libro de texto «La suma algebraica de las corrientes que llegan a un nudo es cero» o «La membrana plasmática está formada en su mayor parte por lípidos y proteínas». Esta información debe ser transferida a la MLP. En caso de no hacerlo, de acuerdo con las características de la MCP que se acaban de apuntar, la información se perdería en un plazo muy breve a no ser que se mantenga mediante el repaso (como cuando se conserva un número de teléfono).

La MLP al almacenar información, no se comporta como lo haría una cinta magnetofónica. La información almacenada no es una copia fiel de la realidad sino que resulta de la convergencia de dos procesos: uno «abajo arriba», condicionado por los datos, es decir, la información externa, y otro «arriba abajo», condicionado por la información que ya posee el que aprende (Bobrow y Norman, 75). El significado de un mensaje presentado, por ejemplo, a través del material impreso, resulta de la interpretación que el individuo hace de este mensaje (5). Por ejemplo, se le pidió a alumnos del nivel de 3.º de BUP que leyesen un texto científico, relacionado con lo que estaban estudiando. Inmediatamente después de que lo hiciesen se les pidió que recordasen todo lo que pudiesen del texto. Se encontró que, en promedio, alrededor del 50 por 100 de las proposiciones que «recordaban» no estaban en el texto (Finley, 83 b). Por tanto, para saber qué es lo que finalmente se almacena en la MLP es necesario prestar atención

(5) Existen ejemplos llamativos del papel del conocimiento del sujeto en la interpretación de la información que se le proporciona. Se usa material deliberadamente ambiguo como el siguiente:

«El procedimiento es realmente muy simple. Primero se disponen las cosas en grupos diferentes. Un montón puede ser suficiente, dependiendo de lo que haya que hacer, desde luego. Si hay que ir a otro lugar por falta de instalaciones, ese sería el paso siguiente. En otro caso todo estaría ya bastante bien dispuesto. Es importante no querer abarcar mucho. Es decir, es mejor hacer de menos en cada vez, que hacer de más. A corto plazo esto puede que no parezca importante pero pueden aparecer complicaciones fácilmente. Un error también puede resultar caro. Al principio todo el proceso puede parecer complicado, sin embargo pronto se convierte en otra rutina de la vida diaria...» (Bransford y Johnson, 73, página 400).

El texto sólo gana significado si el que lee dispone de alguna información apropiada; si sabe, por ejemplo, que se está hablando del lavado de ropa (reléase con esta información, para notar la diferencia).

a los procesos «controlados conceptualmente» y a la información existente en la memoria.

Una de las teorías que se han propuesto para describir la forma en que el conocimiento se representa en la memoria es la del «esquema». De acuerdo con ella todo el conocimiento se encuentra almacenado en unidades llamadas esquemas. Un esquema es

«una estructura de datos que sirve para representar los conceptos genéricos almacenados en la memoria. Hay esquemas que representan nuestro conocimiento sobre todos los conceptos: los que subyacen a los objetos, situaciones, acontecimientos, sucesiones de acontecimientos, acciones y sucesiones de acciones. Un esquema contiene, como parte de la forma de especificarlo, la red de interrelaciones que se cree que existen entre los constituyentes del concepto en cuestión. Una teoría del esquema engloba una teoría prototípica del significado. Es decir, en tanto en cuanto el esquema que subyace a un concepto almacenado en la memoria corresponde al significado de ese concepto, los significados están codificados en términos de las situaciones normales o típicas de los acontecimientos que concretan ese concepto» (Rumelhart, 80, página 34).

Los esquemas se comparan a obras de teatro, porque, al igual que éstas pueden llevarse a cabo con diversos actores, las variables que posee el esquema pueden tomar diversos valores dependiendo de la situación. Así, por ejemplo, el esquema correspondiente a COMPRAR posee variables para el comprador, el vendedor, la mercancía, el medio de intercambio y el acto de compraventa. En cada caso concreto cada una de esas variables toma un valor determinado. Por ejemplo, para el caso de una tienda de ropa, el comprador suele ser una persona (y no una organización o un país), el vendedor es otra persona, la mercancía es ropa, el medio de intercambio es dinero y el acto de compraventa tiene lugar mediante la interacción directa con el vendedor dentro de la tienda (y no por teléfono o por correspondencia).

Los esquemas pueden cumplir varias funciones (6). Consideraremos tres de ellas: permitir la comprensión, inferir y resolver problemas.

De acuerdo con la teoría del esquema, se comprende algo cuando se encuentra un esquema que sirva para interpretar la nueva información, es decir, encuadrarla dentro de las variables del esquema. Por ejemplo, comprender el concepto de aceleración (7) implica poseer el esquema de «CAMBIO». El esquema puede representarse como se muestra en la Figura 4.

Comprender lo que es la aceleración implica la aplicación del esquema de cambio en el caso de que X sea la velocidad de un móvil, Y el tiempo y Z la fuerza resultante. El proceso de comprensión, como en el caso de la tienda de ropa, implicaría dar estos valores a las variables.

En ocasiones no se proporciona información suficiente para dar valores directamente a todas las variables del esquema. Así, si en la descripción de una

(6) Las funciones de los esquemas se estudian en detalle en Rumelhart y Ortony (77), y Rumelhart (80).

(7) Ejemplo tomado de Hewson y Posner (84).

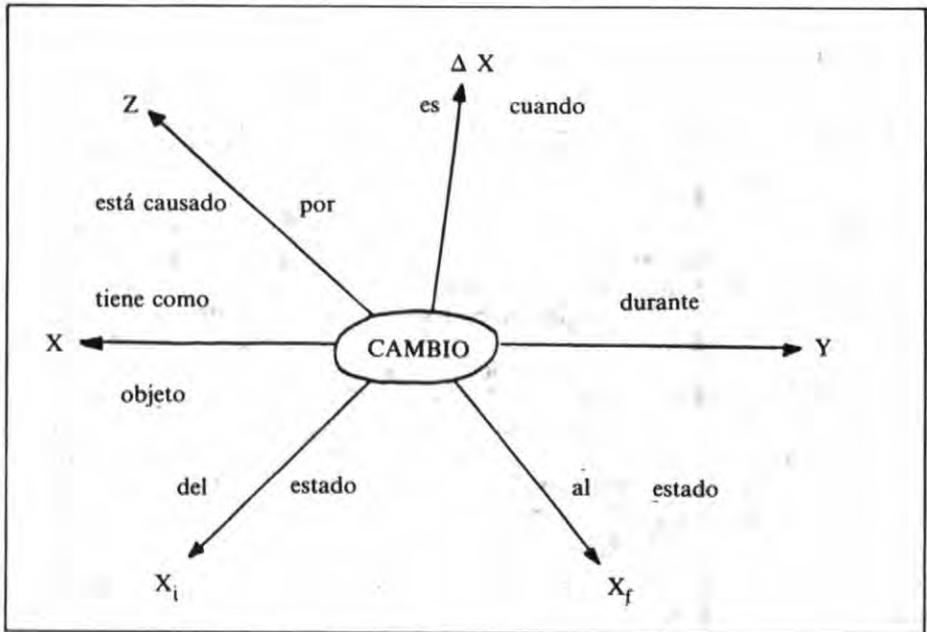


Figura 4. Esquema correspondiente a CAMBIO.

compra en la tienda de ropa se menciona la prenda y el dinero que se gastó, a la variable correspondiente a vendedor, aunque no se mencione explícitamente, se le atribuye el valor «persona» por defecto (y no «máquina», por ejemplo, como se podría hacer si se hablase de la compra de un caramelo en un andén del metro). Esta función de los esquemas, de inferencia, tiene alguna analogía con la que Bruner atribuía a los sistemas de codificación al hablar de «ir más allá de la información proporcionada» (8).

La tercera función de los esquemas que interesa poner de manifiesto es la que juegan en la resolución de problemas. La resolución de problemas parece depender de esquemas ligados a cada tipo de conocimiento, más que de estrategias generales (Finley, 82; Rumelhart, 80). El uso de esquemas lleva a los expertos a la resolución de problemas aplicando los principios necesarios en grupos o bloques y no de manera discreta, uno a uno (aplicando, por ejemplo, el «método de la energía» para la resolución de problemas en mecánica). El uso de lo que se ha llamado «unidades funcionales a gran escala» (Larkin, 79), es decir, esquemas para la resolución de problemas, tiene cierta similitud con la resolución de problemas recurriendo a los llamados «problemas tipo» (9).

(8) Este aspecto constructivo de los esquemas ha sido documentado en el estudio del recuerdo de las narraciones. Los esquemas correspondientes a acontecimientos o actos de la vida normal, como ir al cine o a un restaurante, se llaman *scripts*. Se ha encontrado (Bower y otros, 1979) que los sujetos tienden a recordar acciones que no están incluidas en una narración pero que están implicadas por el *script*.

(9) Sin embargo, este último método, ha fomentado algunas veces la simple memorización de un algoritmo. El alumno puede no adquirir un esquema transferible a la resolución de otros problemas similares.

Niveles de procesamiento

El concepto de niveles de procesamiento se relaciona con las diferencias en la relación entre la información que se presenta a un sujeto y los contenidos de su memoria. Craik y Lockhart (72), los creadores de la idea lo explican así:

«Muchos teóricos están de acuerdo en que la percepción implica un análisis rápido de un número de niveles o etapas... Las etapas preliminares se ocupan del análisis de características físicas o sensoriales... mientras que las posteriores se ocupan de contrastar los *inputs* con abstracciones que se van almacenando como resultado del aprendizaje anterior; es decir, los estadios posteriores se ocupan del reconocimiento de pautas y de la extracción del significado. Esta concepción de una serie o jerarquía de estadios de procesamiento es lo que se llama con frecuencia «profundidad de procesamiento», en donde una mayor profundidad implica un mayor grado de análisis semántico o cognitivo...

...Sugerimos, en particular, que la persistencia de las trazas es función de la profundidad de análisis, estando los niveles más profundos de análisis asociados a trazas más elaboradas, con mayor duración y más vigorosas.»

Por tanto, la retención de la información dependería del nivel a que se procese. La propuesta adelantada por Craik y Lockhart es que la información para la que hay una conexión semántica (que ha sido procesada más profundamente) se recuerda mejor que aquella para la que sólo existe una conexión fonológica u ortográfica, por ejemplo. Se recuerda mejor una lista de palabras si se revisan fijándose en si resultan agradables o no, que fijándose en si tienen una 'e' o una 'g' (Hyde y Jenkins, 73). Es razonable suponer que la primera actividad requiere una mayor profundidad de procesamiento que la segunda.

Otros estudios (Marton y Saljo, 76) realizados con material más complejo, como el que se usa normalmente en la escuela, apuntan hacia la existencia de una relación entre la forma en que se procesa la información (superficialmente o profundamente) y el resultado del aprendizaje en cuanto a los niveles de comprensión (superficial y profunda) (10).

Sin embargo, un problema recurrente en este tipo de estudios es la aparente inexistencia de un criterio claro para determinar el nivel de profundidad a que se procesa la información (Eysenck, 79; Watkins, 83). Anderson (79), propone dar un carácter cuantitativo al concepto cualitativo «profundidad de procesamiento» sustituyéndolo por «número de elaboraciones». Supone que la información es codificada en la memoria en una red de proposiciones que relacionan los conceptos. De acuerdo con esto, incrementar la profundidad de procesamiento significa aumentar el número de conexiones entre la información nueva y la que está almacenada en la memoria. La redundancia en las conexiones explicaría que mejore el recuerdo de la información más elaborada.

(10) El trabajo tiene, sin embargo, algunas limitaciones por la vaguedad de la definición de los términos «superficial» y «profundo» y por el método de medida del grado de profundidad.

II. CONCLUSIONES

Las teorías anteriores arrojan luz sobre el proceso de adquisición de los conceptos científicos de la enseñanza media y superior. En esta parte se presentan algunas consideraciones sobre este proceso ordenándolas en dos apartados de acuerdo con dos enfoques diferentes de la naturaleza de los conceptos científicos: los conceptos científicos como conocimiento declarativo o como conocimiento procedimental. La mayor parte de la investigación sobre el aprendizaje de conceptos científicos parece haberse hecho bajo la primera perspectiva. Dentro de ella, en el primer apartado, se considera el papel del conocimiento del que aprende y la influencia del nivel al que se procesa la información.

En el segundo apartado se discute la idea de los conceptos científicos como conocimiento procedimental y se argumenta que esta concepción parece más adecuada a la realidad de estos conceptos. Las relaciones entre ambas concepciones (declarativa-procedimental) se plantean como un interrogante abierto a la investigación educativa.

Finalmente se sintetizan las conclusiones más importantes de todo lo expuesto.

Los conceptos científicos como conocimiento declarativo

El conocimiento declarativo se refiere a información «estática», como conocer que el punto de ebullición de un líquido varía con la presión exterior. El conocimiento procedimental, sin embargo, se refiere a los procesos necesarios para usar el conocimiento declarativo.

A continuación consideramos los conceptos científicos desde el primer punto de vista.

El papel de los conocimientos del que aprende

Para Gagné la adquisición de un concepto por definición implica acceder en la memoria a los conceptos de que consta la definición junto con la capacidad de representarse la sintaxis del enunciado. Se adquiere el concepto de «capacidad», cuando se posee el concepto de carga eléctrica, el concepto de potencial eléctrico, el concepto de cociente, y el alumno es capaz de representarse la sintaxis del enunciado de la definición.

Se ha apuntado que ésta es una concepción empirista de la adquisición del conocimiento (Finley, 83 a). Según esto, el conocimiento se construye siempre en un único sentido, a partir de la experiencia, a través de una cadena que lleva desde los estímulos sensoriales al conocimiento de principios o a la resolución de problemas. Sin embargo, el conocimiento conceptual que el alumno aprende en la clase de ciencias en estos niveles, no gana su significado a partir de la conexión con datos sensoriales de acuerdo con una cadena

estímulos sensoriales -----> concepto

sino a través de las relaciones que se establecen con las ideas que el alumno ya posee (algunas de ellas de gran generalidad).

La importancia de las ideas previas en el aprendizaje de conceptos se desprende tanto de la teoría de Ausubel como de la teoría del esquema. Un alumno asimilará, o no, la información que se le presenta según posea o no incluso apropiados, es decir, ideas relevantes y estables a las cuales conectar de manera no arbitraria la nueva información. Tal como se expuso anteriormente, el significado de la información conceptual que se presenta al alumno surge de la interacción entre un proceso abajo-arriba y otro arriba-abajo. Estos dos procesos deben converger. Para ello, la información nueva puede relacionarse de diversas formas con el conocimiento que el alumno ya posee; los nuevos conceptos científicos que se le presentan a un alumno pueden conectarse fundamentalmente con ideas supraordenadas, coordinadas o subordinadas (11), correspondiendo a los tres tipos de aprendizaje que se consideran en la teoría de Ausubel.

En la presentación de los conceptos científicos se usan los tres tipos de conexiones, y con frecuencia más de un solo tipo para la introducción de un concepto dado. Se puede introducir un concepto ligándolo a otros menos generales, subordinados, o a conocimiento ligado directamente a percepciones o imágenes sensoriomotoras (Lindsay y Norman, *op. cit.*, página 391), es decir, objetos o acciones motoras reales que evitan la circularidad de las definiciones de conceptos en términos de otros conceptos (como sucede en los diccionarios) (13). El concepto de carga eléctrica, por ejemplo, se suele introducir describiendo las fuerzas que se ejercen entre varillas de vidrio frotadas con seda y varillas de ebonita frotadas con piel (o mostrando el fenómeno en el laboratorio).

La conexión con conceptos subordinados o con datos de la experiencia es frecuente, tanto en exposiciones didácticas como en la presentación de resultados de investigación en la literatura científica. Esta organización ha sido criticada por Medawar (63) y en los aspectos educativos por muchos autores (Elkana, 70, o Strike, 83, por ejemplo). No nos detendremos aquí en los problemas que plantea (14).

La mayor parte de los conceptos se conectan a otros coordinados, de aproximadamente el mismo nivel de generalidad. La *mitosis*, por ejemplo, se define como el proceso por el que una *célula* se divide en dos presentando cada una de ellas el mismo número de *cromosomas* que la célula madre.

Los conceptos científicos se pueden también introducir relacionándolos con otros más generales. La *presión manométrica*, por ejemplo, se introduce en relación con el concepto más general de *presión*. Ausubel recomienda este procedimiento para conectar de la manera más estable con las ideas que el alumno ya posee.

En el aprendizaje subordinado, es decir, en la conexión de conceptos con otros más generales, juegan un papel los esquemas. La teoría del esquema da, en particular, una explicación a dos fenómenos asociados con el papel de la in-

(11) Corresponderían a las categorías 2, 3, 4, 5 y 6 que propone Reigeluth (83). La conexión con conocimiento significativo arbitrario no se considera por no conducir al aprendizaje significativo propiamente. La conexión con el conocimiento experimental se considera un caso de conexión con ideas subordinadas. De la misma forma, el uso de analogías es un caso de conexión con ideas supraordenadas.

(13) Proporcionar este tipo de imágenes es una de las funciones del laboratorio.

(14) Un tratamiento con más detalle puede encontrarse en los artículos anteriores o en Otero (85).

formación que posee el que aprende: las dificultades en la comprensión y la interferencia de las preconcepciones de los estudiantes.

Parece ocioso recordar que resulta más difícil para un alumno leer un texto científico que una noticia en un periódico; ¿por qué? Una de las razones que podrían explicar parte de esta dificultad es la escasez de esquemas para comprender la información recibida. Por ejemplo, a los alumnos se les proporciona en el libro de texto el concepto de rendimiento o eficiencia de una máquina térmica:

«La eficiencia, e , de una máquina térmica es la relación entre el trabajo neto efectuado por la máquina durante un ciclo y el calor que se toma de la fuente de mayor temperatura en el mismo ciclo. Por tanto $e = W/Q_1$ » (Halliday & Resnick, 77, página 561).

De acuerdo con la teoría del esquema, los alumnos no comprenderán esto a no ser que posean, o sean capaces de activar en el contexto de la física, el esquema de RENDIMIENTO: una razón entre «algo que se recoge» y «algo que se ha proporcionado» (generalmente energía en el contexto físico; en el contexto económico podría ser dinero) (15). La comprensión, en este caso implicaría caracterizar el esquema, es decir, dar valor a las variables. «Lo que se recoge» es en este caso trabajo mecánico neto; «lo que se proporciona» es calor desde el foco caliente.

Por tanto, facilitar la comprensión implica ayudar a que el alumno active esquemas que le permitan asimilar la información que se le presenta (16). Ello concuerda fundamentalmente con la importancia que, dentro de la teoría de Ausubel, se concede a la movilización de inclusores apropiados, es decir, ideas generales de gran estabilidad a las que conectar la información que se presenta al alumno.

Un segundo fenómeno asociado con el aprendizaje subordinado es la interferencia de preconcepciones en el aprendizaje de conceptos científicos. El fenómeno se explica en términos de la activación de esquemas incorrectos. Si un alumno usa el esquema de CAMBIO mencionado anteriormente, por ejemplo, para comprender la definición de velocidad, lo caracterizará haciendo que la variable X sea el espacio recorrido por un móvil y la variable Y sea el tiempo. La variable Z se rellenará por defecto, es decir, suponiendo que existe una causa (fuerza) para el cambio de posición. Ello explicaría un error cometido con mucha frecuencia por los alumnos que estudian mecánica.

(15) Debe notarse, de nuevo, la diferencia con la concepción de Gagné. Según su teoría para adquirir el concepto de rendimiento solamente se requeriría poseer los conceptos componentes W, Q, ciclo y el de cociente.

(16) Es ilustrativo comprobar cómo la recomendación ha sido seguida de hecho, sin un conocimiento formal de la teoría del esquema, por científicos y profesores brillantes como R. Feynman. Feynman (66, páginas 4-1 y siguientes) presenta el concepto de energía, tratando de activar en el lector el esquema de ALGO QUE EN CUALQUIER TRANSFORMACION SE CONSERVA, antes de presentar el detalle que ofrecen la mayoría de los textos.

Es de notar que este tipo de ideas generales, como la de «algo que se conserva» subyacente al concepto de energía (ideas que autores como Holton [82] llaman *themata*) que pueden jugar un papel tan importante en el contexto de descubrimiento, se tienden a eliminar en las organizaciones del contenido científico con propósitos «pedagógicos».

Formas de conectar la nueva información

Una de las condiciones para que tenga lugar el aprendizaje significativo es la existencia de *disposición* para ese tipo de aprendizaje por parte del que aprende. La disposición para el aprendizaje significativo de los conceptos científicos podría traducirse en una mayor profundidad de procesamiento de la información. Una menor disposición implicaría un aprendizaje más superficial:

«Los seres humanos exhiben una tendencia bastante fuerte a evitar esfuerzos mentales fuera de lo normal para minimizar la carga de procesamiento y conservar los recursos para la atención. Esta tendencia resulta con frecuencia en que se atiende y se usan los aspectos superficiales en lugar de los correspondientes a la estructura profunda de la situación» (Fisher y Lipson, 1985, página 65).

El procesamiento superficial es un fenómeno que se da en el aprendizaje de los conceptos científicos en estos niveles (17). Las razones que se han apuntado como explicación pueden ser de origen estratégico: debido a la poca calidad de la enseñanza que reciben los alumnos no le queda como alternativa sino «preservar tan poca atención [a las ideas que se presentan en la clase de ciencias] como sea posible y compatible con la ausencia de problemas» (McClelland, 84, página 5).

El procesamiento superficial del contenido conceptual de una disciplina científica tiene, entre otras manifestaciones, el aprendizaje del contenido científico a un bajo nivel de generalidad, aprendiendo conceptos y principios de manera inconexa. Parecen necesitarse tratamientos «fuertes» para que los alumnos adquieran conjuntos de conceptos organizados de manera jerárquica, con los conceptos y principios más generales organizando el contenido más concreto (Eylon y Reif, 84). Es necesario, por ejemplo, solicitar con frecuencia a los alumnos que reflexionen sobre la conexión de los conceptos a diversos niveles de generalidad mediante preguntas intercaladas en el texto u otros recursos. El alumno de este nivel parece no captar fácilmente la organización conceptual de una lección, por ejemplo, aun en el caso de que esté cuidadosamente estructurada (Sherris y Kahle, 84).

Los conceptos científicos como conocimiento procedimental

Como se ha indicado, la concepción más generalizada de «concepto» es la de una clase de objetos o acontecimientos con características (atributos) comunes. De acuerdo con ello, la posesión del concepto equivale a la capacidad de clasificar objetos o acontecimientos dentro o fuera de la categoría definida por el concepto.

Solamente en caso de que forzásemos considerablemente el significado de «concepto» que se acaba de exponer, sería posible aplicarlo a ideas como «energía cinética», «mol» o «fotosíntesis», usadas normalmente en las ciencias experimentales.

(17) El fenómeno, o una faceta de él, ha sido identificado también con el nombre de «metodología de la superficialidad» practicada por alumnos y profesores (Carrascosa y Gil, 85).

Suponer que un alumno ha adquirido el concepto de energía cinética, por ejemplo, cuando es capaz de indicar si diversos tipos de energía que se le presentan (?) pertenecen o no a la clase «energía cinética» es una descripción poco adecuada de la posesión de un concepto científico. Tomando como modelo la posesión de un concepto tal como se manifiesta en un experto, ni siquiera el hecho de dar la definición implicaría, por sí solo, que el alumno ha adquirido el concepto.

La adquisición de un concepto científico parece implicar, más bien, la capacidad de saber *usarlo* en sus relaciones con otros conceptos, dentro de una estructura conceptual o lo que Bruner llama sistemas de codificación. Desde este punto de vista, por tanto, el conocimiento de los conceptos científicos parece ser procedimental más que declarativo:

«Considérese la comprensión que un experto puede tener de la física, por ejemplo. Pregúntese por un concepto y obsérvese la forma de la 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 que se sigue 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 conocida, 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' (DiSessa, 79, página 243).

De hecho, esta descripción concuerda con la forma en que se introducen los conceptos en muchos textos y cursos de ciencias. Retomando el ejemplo anterior, la introducción del concepto de energía cinética en un texto típico de física (p. ej. Sears & Zemansky, 77) no se efectúa a través de la definición y de una explicación cuidadosa de sus términos (masa, velocidad) sino presentando las relaciones que mantiene con conceptos como «trabajo de la fuerza resultante sobre una partícula», «energía potencial gravitatoria» o «energía potencial elástica» (18). Una de las funciones de los problemas que tradicionalmente se incluyen en los textos de ciencias (además de un posible desarrollo de estrategias de resolución de problemas) sería la de conocer el uso en muchas situaciones diferentes, de los conceptos que se han presentado en el capítulo.

El hecho de que los conceptos científicos ganan en muchas ocasiones su significado *únicamente* a partir de este uso y de la variedad de conexiones que se establecen dentro de una red conceptual (19), y no de una definición, se ilustra también por la existencia en algunos textos de definiciones de algunos conceptos básicos como masa o temperatura que son circulares o inadecuadas. Estas definiciones, por sí solas, no servirían para dar significado al concepto (20). Sin

(18) Véase Sears & Zemansky, 77, páginas 151-164.

(19) «... [los conceptos teóricos] derivan su significado en términos de los postulados de una teoría específica... En resumen, uno no puede comprender totalmente el significado de cualquier concepto teórico aislado sin apreciar y ser consciente del sistema teórico de que forma parte y de los datos experimentales sobre los que se basa ese sistema» (Lawson y Lawson, 79, página 109).

(20) En el texto citado más arriba, por ejemplo, se define la masa como el cociente entre la fuerza y la aceleración producida, $m = F/a$ (página 97). Si esto fuese así, la 2.ª Ley de Newton no sería una ley sino que sería verdad por definición (véase Feynman, 66, páginas 12-1).

embargo, el alumno puede aprender a manejarlos correctamente en la resolución de problemas, comportándose de manera análoga a como lo hacen los niños de 7 y 8 años estudiados por Piaget, que usan correctamente la palabra «porque» pero son incapaces de explicar su significado (21).

De acuerdo con esto, la posesión de un concepto científico debería medirse, más bien, por la forma en que se usa relacionándolo con otros conceptos.

Los conceptos científicos, por tanto, parecen poder considerarse desde los dos puntos de vista que se han expuesto. La relación entre ambas concepciones no ha sido muy estudiada (22). El uso que se hace de los conceptos es un tema que ocupa a los investigadores en este área (Greeno, 78; Stewart, 82; Champagne y Klopfer, 81; Gorodetsky y Hoz, 80; Finley, 82). Por su amplitud escapa a los propósitos de este trabajo.

Conclusiones

Se sintetizan a continuación las conclusiones más importantes que se desprenden de lo expuesto hasta aquí, junto con algunas recomendaciones para la enseñanza de los conceptos científicos en los niveles a que nos referimos.

1. El aprendizaje de un concepto científico por el alumno de este nivel resulta de la interacción entre las ideas que ya posee y la información científica que se le presenta. Es importante prestar atención a las primeras.

2. La comprensión (el aprendizaje significativo) de los conceptos científicos depende de que el alumno active esquemas que le permitan incluir (asimilar) la información. El profesor y los materiales de enseñanza deben ayudar a la activación de los esquemas adecuados a la información que se presenta.

3. El alumno usa espontáneamente, en ocasiones, esquemas inadecuados (preconcepciones erróneas) para la comprensión de la información. El profesor debe ayudar en la modificación o sustitución de estas ideas.

4. El aprendizaje significativo depende de la disposición para conectar de manera no arbitraria los conceptos presentados con las ideas que ya posee el alumno. Los alumnos tienen una disposición a conectar superficialmente los nuevos conceptos científicos a lo que ya saben. El profesor y los materiales de enseñanza deben favorecer la conexión profunda y la identificación de las ideas generales que organizan la información proporcionada. Para ello parece ser necesario mostrar explícitamente al alumno las relaciones entre conceptos, de los conceptos con los datos, y los principios generales que organizan el contenido conceptual.

5. Los conceptos científicos son elementos que no ganan su significado de una definición, solamente, sino a partir de las interrelaciones dentro de un sistema conceptual. El profesor debe favorecer la creación de estas conexiones y

(21) Citado en Vygotsky (62), página 87.

(22) Parece que habría diferencias en el carácter de conocimiento procedimental que pueden tener los conceptos de diversas ciencias. En algunas de ellas, como la biología, adquirir conceptos como conocimiento declarativo podría ser más importante que en ciencias como la física (Hewson y Posner, *op. cit.*, página 129).

medir el dominio de los conceptos por el uso que el alumno hace de ellos dentro de esta red.

6. Las relaciones entre la comprensión de un concepto, considerado desde el punto de vista de conocimiento declarativo, y el uso que se hace de él, representan un campo de trabajo de la investigación educativa actual en el área de las ciencias.

Agradecimientos: Este artículo ha podido ser preparado gracias a una Ayuda para la Investigación del C. I. D. E., dentro del XIV Plan, y a una Bolsa de Viaje del Comité Conjunto Hispano Norteamericano para Asuntos Educativos y Culturales.

REFERENCIAS

- Anderson, J. R. y Reder, L. M.: «An Elaborative Processing Explanation of Depth of Processing». En *Levels of Processing in Human Memory*. L. S. Cermak y F. I. M. Craik (Eds.). Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum, 1979.
- Anderson, J. R.: *Cognitive Psychology and its Implications*. San Francisco: W. Freeman, 1980.
- Ausubel, D. P.: *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*. Nueva York: Grune & Stratton Inc., 1963.
- Ausubel, D. P.: *Educational Psychology. A Cognitive View*. Nueva York: Holt, Rinehart & Winston, 1968. Existe traducción al castellano: Trillas, 1976.
- Ausubel, D. P. y Robinson, F. G.: *School Learning. An Introduction to Educational Psychology*. Nueva York: Holt, Rinehart & Winston, 1969.
- Ausubel, D. P.; Novak, J. D., y Hanesian, H.: *Educational Psychology*. Nueva York: Holt, Rinehart & Winston, 1978.
- Berlyne, D. E.: *Structure and Direction in Thinking*. Nueva York: John Wiley, 1965.
- Bobrow, D. G. y Norman, D. A.: «Some Principles of Memory Schemata». En *Representation and Understanding: Studies in Cognitive Science*. D. G. Bobrow y A. M. Collins (Eds.). Nueva York: Academic Press, 1975.
- Bower, G. H.; Black, J. B., y Turner, T. J.: «Scripts in Memory for Text». *Cognitive Psychology*, 11, págs. 172-220, 1979.
- Bransford, J. D. y Johnson, M. K.: «Consideration of Some Problems of Comprehension». En *Visual Information Processing*. W. Chase (Ed.). Nueva York: Academic Press, 1973.
- Bruner, J. S.; Goodnow, J. J., y Austin, G. A.: *A Study of Thinking*. Nueva York: John Wiley and Sons, 1956.
- Bruner, J. S.: *The Process of Education*. Nueva York: Vintage Books, 1963. 1.ª edición, Harvard University Press, 1960.
- Bruner, J. S.: «Going Beyond the Information Given» en *Contemporary Approaches to Cognition*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1957. Reimpreso en *Beyond the Information Given*, J. M. Anglin (Ed.) Londres: George Allen Unwin, 1974.
- Carrascosa, J. y Gil, D.: «La 'metodología de la superficialidad' y el aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, págs. 113-120, 1985.
- Carroll, J. B.: «Words, Meanings and Concepts». *Harvard Educational Review*, 34, págs. 178-202, 1964.
- Cermak, L. S. y Craik, F. I. M. (eds.): *Levels of Processing in Human Memory*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum, 1979.

- Champagne, A. B. y Klopfer, L.: «Structuring Process Skills and the Solution of Verbal Problems Involving Science Concepts». *Science Education*, 65, 5, págs. 493-511, 1981.
- Craik, F. I. M. y Lockhart, R. S.: «Levels of Processing: A Framework for Memory Research». *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, págs. 671-676, 1972.
- Di Sessa, A.: «On Learnable Representations of Knowledge: A Meaning for the Computational Metaphor». En *Cognitive Process Instruction*. J. Lochhead y J. Clement (Eds.) Philadelphia: The Franklin It. Press, 1979.
- Elkana, Y.: «Science, Philosophy of Science and Science Teaching». *Educational Philosophy and Theory*, 2, págs. 15-35, 1970.
- Eylon, B. y Reif, F.: «Effects of Knowledge Organization on Task Performance». *Cognition and Instruction*, 1, 1, págs. 5-44, 1984.
- Eysenck, M. W.: «Depth, Elaboration and Distinctiveness». En Cermak, L. S., Craik, F. I. M. (Eds.). *Levels of Processing in Human Memory*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum, 1979.
- Feynman, R.; Leighton, R. B., y Sands, M.: *The Feynman Lectures on Physics*. Reading, Mass.: Addison Wesley, 1966. Existe traducción al castellano: Ed. Fondo Educativo Interamericano, 1971.
- Finley, F. N.: «An Empirical Determination of Concepts Contributing to Successful Performance of A Science Process: A Study of Mineral Classification». *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 8, págs. 689-696, 1982.
- Finley, F. N.: «Science Processes». *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 1, págs. 47-54, 1983 a.
- Finley, F. N.: «Student's Recall from Science Text». *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 3, páginas 247-259, 1983 b.
- Gagné, R. M.: *The Conditions of Learning*. Nueva York: Holt, Rinehart & Winston, 1965, 1970, 1977. Existe traducción al castellano de la primera edición: Ed. Aguilar, 1971.
- Gagné, R. M.: «The Learning of Principles». En *Analyses of Concept Learning*. Klausmeier, H. J. y Harris, C. W. (Eds.). Nueva York: Academic Press, 1966.
- Gagné, R. y Briggs, L.: *Principles of Instructional Design*. New York: Holt, 1974.
- Gorodetsky, M. y Hoz, R.: «Use of Concept Profile Analysis to Identify Difficulties in Solving Science Problems». *Science Education*, 64, 5, págs. 671-678, 1980.
- Greeno, J. G.: «Understanding and Procedural Knowledge in Mathematics Instruction». *Educational Psychologist*, 12, 3, págs. 262-283, 1978.
- Halliday, D. y Resnick, R.: *Física*. Méjico: C. E. C. S. A., 1977.
- Helm, H.: «Do Students Understand the Role and Nature of Scientific Concepts?». Artículo presentado en el Seminario Internacional «Misconceptions in Science and Mathematics», Cornell University, Ithaca, N. Y., junio, págs. 20-22, 1983.
- Hewson, P. W. y Posner, G. J.: «The use of Schema Theory in the Design of Instructional Materials: a Physics Example». *Instructional Science*, 13, págs. 119-139, 1984.
- Holton, G.: *Ensayos sobre el pensamiento científico en la época de Einstein*. Madrid: Alianza Editorial, 1982.
- Horton, D. L. y Mills, C. B.: «Human Learning and Memory». *Annual Review of Psychology*, 35, páginas, 361-394, 1984.
- Hyde, T. S. y Jenkins, J. J.: «Recall for Words as a Function of Semantic, Graphic and Syntactic Orienting Tasks». *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 12, págs. 471-480, 1973.
- Kendler, H. H.: «The concept of the concept». En A. W. Melton (Ed.). *Categories of Human Learning*. Nueva York: Academic Press, 1964.
- Larkin, J. H.: «Information Processing Models and Science Instruction». En *Cognitive Process Instruction*. J. Lochhead y J. Clement (Eds.). Philadelphia: The Franklin It. Press, 1979.
- Lawson, A. E. y Lawson, C. A.: «A Theory of Teaching for Conceptual Understanding, Rational Thought and Creativity». En *The Psychology of Teaching for Thinking and Creativity*. 1980 AETS Year Book. A. E. Lawson (Ed.). Columbus: ERIC Clearinghouse for Science, Mathematics and Environmental Education, 1979.
- Lindsay, P. H. y Norman, D. A.: *Human Information Processing: An Introduction to Psychology*. Nueva York: Academic Press, 1977. Existe traducción al castellano: Ed. Tecnos, 1983.

- Marton, F. y Saljo, R.: «On qualitative differences in learning: Outcome and process». *British Journal of Educational Psychology*, 46, págs. 4-11, 1976.
- McClelland, J. A. G.: «Alternative frameworks: Interpretation of evidence». *European Journal of Science Education*, 6, págs. 1-6, 1984.
- Medawar, P. B.: «Is the Scientific Paper a Fraud?». *The Listener*. BBC Publications, págs. 377-378, 1963.
- Miller, G. A.: «The Magical Number Seven». *Psychological Review*, 63, págs. 81-97, 1956.
- Novak, J. D.: «The Role of Concepts in Science Teaching» en H. J. Klausmeier y C. W. Harris (Eds.). *Analyses of Concept Learning*. Nueva York: Academic Press, 1966.
- Novak, J. D.: *A Theory of Education*. Ithaca, N. Y.: Cornell University Press, 1977. Existe traducción al castellano: Alianza Editorial, 1983.
- Osgood, C. E.: *Method and Theory in Experimental Psychology*. Londres y Nueva York: Oxford University Press, 1953.
- Otero, J.: «An analysis of traditional representations of scientific knowledge from the point of view of Ausubel's theory of learning». Artículo presentado en la Reunión Anual de la N. A. R. S. T., French Lick, Indiana, abril 1985.
- Reigeluth, C. M.: «Meaningfulness and Instruction: Relating What is Being Learned to What a Student Knows». *Instructional Science*, 12, págs. 197-218, 1983.
- Rumelhart, D. E. y Ortony, A.: «The Representation of Knowledge in Memory». En *Schooling and the Acquisition of Knowledge*. R. C. Anderson; R. J. Spiro, y W. E. Montague (Eds.). Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum, 1977.
- Rumelhart, D. E.: «Schemata: The Building Blocks of Cognition». En *Theoretical Issues in Reading Comprehension*. R. J. Spiro; B. C. Bruce, y W. F. Brewer (Eds.). Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum, 1980.
- Sahakian, W. S.: *Learning: Systems, Models and Theories*. Chicago: Rand McNally, 1976, 2.^a edición.
- Sears, F. y Zemansky, M. W.: *Física*. Madrid: Aguilar, 1977.
- Sherris, J. D. y Kahle, J. B.: «The Effects of Instructional Organization and Locus of Control Orientation on Meaningful Learning in High School Biology Students». *Journal of Research in Science Teaching*, 21, 1, págs. 83-94, 1984.
- Stewart, J.: «Two Aspects of Meaningful Problem Solving in Science». *Science Education*, 66, 5, págs. 731-749, 1982.
- Stewart, J. y Atkin, J. A.: «Information Processing Psychology: A Promising Paradigm for Research in Science Teaching». *Journal of Research in Science Teaching*, 19, 4, págs. 321-332, 1982.
- Strike, K. A.: «Misconceptions and Conceptual Change: Philosophical Reflections on the Research Program». Artículo presentado en el Seminario Internacional «Misconceptions in Science and Mathematics», Cornell University, Ithaca, N. Y., págs. 20-22, junio, 1983.
- Vygotsky, L. S.: *Thought and Language*. Cambridge, Mass.: M. I. T. Press, 1962.
- Watkins, D.: «Depth of Processing and the Quality of Learning Outcomes». *Instructional Science*, 12, págs. 49-58, 1983.
- Wilkegren, W. A.: «Human Learning and Memory». *Annual Review of Psychology*, 32, págs. 21-52, 1981.