



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**PERFILES  
EDUCATIVOS**

ISSN 0185-2698

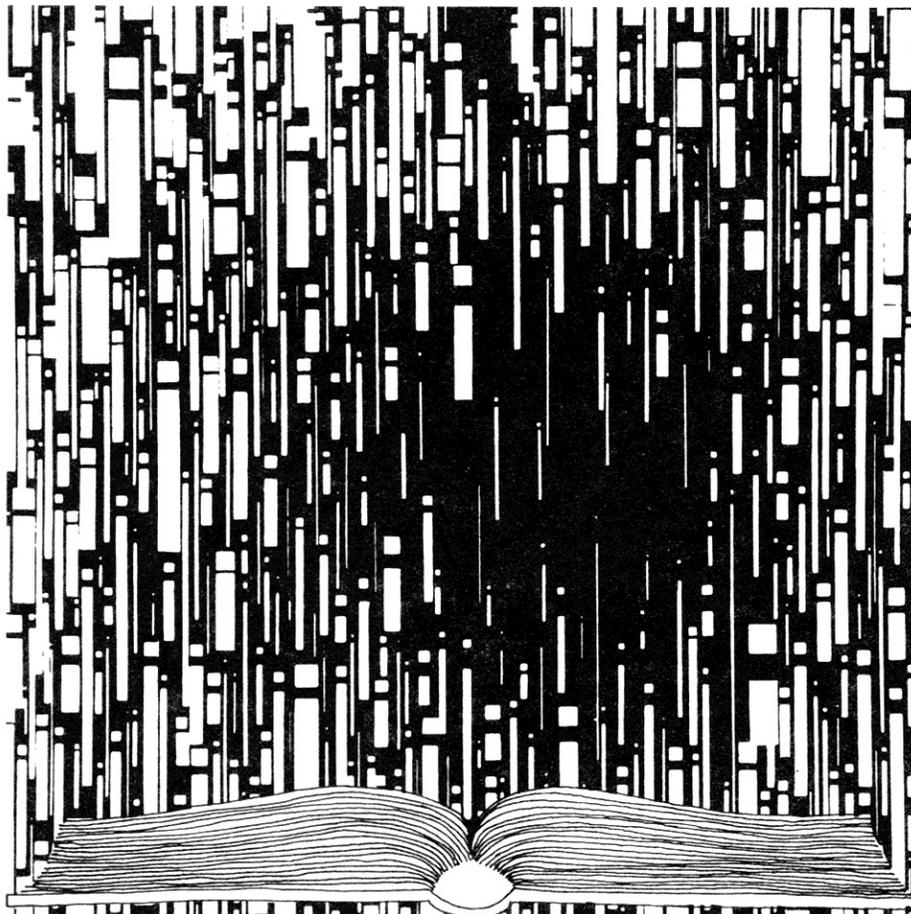
**Posner, George J. (1979)**  
**“INSTRUMENTOS PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL  
CURRÍCULO: APORTACIONES POTENCIALES  
DE LA CIENCIA COGNOSCITIVA”**  
**en Perfiles Educativos, No. 6 pp. 17-40.**

# Instrumentos para la investigación y desarrollo del currículo: Aportaciones potenciales de la ciencia cognoscitiva

George J. POSNER\*

Traducción: Serafín Zamora Briones

Revisión técnica: Marta Uribe



En este artículo nos proponemos examinar las posibles aplicaciones de las técnicas y conceptos de un nuevo campo interdisciplinario, la ciencia cognoscitiva, a las tareas propias de los investigadores y diseñadores del currículo.

Si partimos del supuesto de que el trabajo curricular es, parcialmente al menos, un trabajo sobre "El contenido" (Huebner, 1976, p. 156), podemos preguntarnos qué nuevos instrumentos generados en el campo de la ciencia cognoscitiva pueden contribuir al desarrollo de los cursos de estudio y a la investigación sobre el contenido de la educación.

Señalaremos, en primer término, que el contenido denota un concepto a tal punto vago, que todo intento de aplicarlo como centro de la formación escolar está destinado al fracaso. Ante todo, el "proceso es contenido" (Parker y Rubin, 1966); pero también es "afecto" (Weinstein y Fantini, 1970). Sin reducir la importancia de los aspectos

\* Universidad de Cornell, E.U.A.  
Profesor visitante del Programa de Becarios  
1979-1980 del CISE.

de contenido, este artículo estará limitado al contenido conceptual y, particularmente, al contenido conceptual tomado de las disciplinas.

Siguiendo a quienes se pronuncian en favor de las disciplinas, sustentamos que el contacto con el conocimiento organizado aporta a los estudiantes una comprensión de los conceptos generativos y de los principios básicos; suministra también el manejo hábil de vigorosas formas de pensamiento y de estrategias para la solución de problemas; la reducción del acervo de información que debe recordarse y el aumento en la significatividad de lo que se aprende.<sup>1</sup>

Si los investigadores desean conocer el alcance y los medios a través de los cuales el contacto con las disciplinas produzca tales consecuencias, deberán procurarse conceptos y técnicas que los investigadores educativos no emplean de un modo ordinario. Estos instrumentos son necesarios para representar la estructura de las disciplinas, que puede estar contenida lo mismo en un informe de investigación,<sup>2</sup> que en un libro de texto o en la mente de un especialista. Aun más: estos instrumentos son necesarios para investigar minuciosamente lo que un estudiante conoce acerca de un área de contenido; o bien cómo el conocimiento que posee aquél antes de someterse a la enseñanza, interactúa con el contenido de la enseñanza y cómo el contenido que aprende por esta interacción (por ejemplo, su

nuevo conocimiento) se relaciona con lo que puede hacer (por ejemplo, su ejecución). Más adelante veremos cómo los instrumentos para estas tareas se van desprendiendo en forma creciente del estudio de la memoria humana y de las estructuras y procesos del lenguaje y del pensamiento.

Si los diseñadores del currículo desean planear cursos, necesitan realizar sus tareas empleando mejores técnicas y conceptos. Las tareas que requieren de estos instrumentos comprenden el análisis y la representación de las disciplinas del conocimiento; el diseño de objetivos que reflejen adecuadamente la estructura del conocimiento; la organización del contenido dentro de cada curso y entre los cursos; el análisis del contenido de los textos y actividades de enseñanza vigentes, y el desarrollo de técnicas de evaluación que permitan valorar tanto el aprendizaje significativo, como la capacidad para resolver problemas.

Este artículo pretende introducir al investigador y al diseñador del currículo en un campo que le ofrece perspectivas promisorias para procurarse estos instrumentos necesarios.

La ciencia cognoscitiva conjuga el esfuerzo de quienes se ocupan en el estudio de la psicología cognoscitiva, de la inteligencia artificial y de la lingüística, para resolver los problemas referentes a la representación del significado y de los aspectos estructurales y de

procesamiento del lenguaje, el conocimiento y la solución de problemas (Rumelhart y Ortony, 1977). Estos investigadores se proponen comprender qué es lo que caracteriza a la conducta inteligente (Norman y Rumelhart, 1975) y, específicamente, tratan de saber cómo se organiza el pensamiento para ser almacenado, recuperado y empleado, y cómo la experiencia previa de una persona y el conocimiento adquirido modifican la percepción, la comunicación, el aprendizaje y la ejecución de tareas. Aunque los frutos de esta línea de investigación tienen implicaciones en el desarrollo y la investigación del currículo, se han hecho muy pocos intentos para relacionar este nuevo campo con los problemas del currículo.<sup>3</sup> Entre los contados trabajos que tratan de enlazar a la ciencia cognoscitiva con la educación, ninguno está enfocado a los problemas curriculares. Este artículo trata de llenar ese vacío: Principia por examinar los elementos de un modelo de procesamiento de la información en el hombre y posteriormente procede a examinar la amplitud con la cual este modelo, y sus técnicas asociadas, puede contribuir a los esfuerzos consagrados al desarrollo y la investigación del currículo.

## PRIMERA PARTE

### Ciencia cognoscitiva: desarrollos recientes

Esta primera sección ofrece algunas ideas recientes acerca del sistema de procesamiento de la información en el hombre. En ella se describen, primero, los elementos fundamentales de dicho

1. Véase, por ejemplo, Bruner (1960).

2. Gowin (1978) denomina a estos informes de investigación "fuentes primarias" de conocimiento.

3. Deben mencionarse varias excepciones notables. Farnham-Diggory (1972) representa un primer intento. Klahr (1976) y Anderson, Spiro y Montague (1977) aportan trabajos más recientes.



La critica guarda  
con quattro occhi,  
la stampa di  
Alhen & Lacroix  
non ne teme dieci.  
perfetta, setosa,  
piena, precisa,  
viva giusta,  
vera, intensa,  
tecnica, moderna.

sistema; a continuación, se considera en detalle un aspecto de este sistema, o sea, la información que se tiene acerca del mundo y cómo se puede representar este conocimiento; finalmente, se examina la validez de tales representaciones. Esta sección constituye un respaldo a la siguiente, que se ocupa de las aplicaciones curriculares de la ciencia cognoscitiva.

#### A. Los elementos básicos de un modelo de procesamiento de la información en el hombre.

De la mayor parte de los estudios que tratan sobre el sistema de procesamiento de la información en el hombre podemos extraer algunos elementos comunes:

1) Hay una entrada (**input**) de información que llega al sistema a través de los órganos de la sensibilidad y una salida (**output**), por la cual el individuo cambia su ambiente original.

2) Hay una clase de memoria denominada memoria a corto plazo

(MCP) con capacidad limitada a 6 o 7 "fragmentos" de información (el "número mágico  $7 \pm 2$ " de George Miller-Miller, 1956), la cual requiere constante ejercicio para preservar la información del desvanecimiento (por ejemplo, olvidar). La solución de problemas y las operaciones de cálculo generalmente se ejecutan a nivel de esta limitada capacidad de MCP. Esta función, a la que se denomina "memoria operatoria", procesa la información en serie (o sea, una operación al mismo tiempo) y no de modo simultáneo (o sea, varias operaciones al mismo tiempo), conforme a Newell y Simon (1972).<sup>4</sup> Las limitaciones de esta clase de memoria quedan ilustradas por la facilidad relativa con que la mayor parte de la gente puede multiplicar mentalmente  $53 \times 7$ , (lo cual no requiere nunca el almacenamiento de más de tres fragmentos de información al mismo tiempo) y por lo difícil que es multiplicar mentalmente  $53 \times 45$  (que requiere el almacenamiento de algo así como seis fragmentos de infor-

mación, además de la ejecución de otras operaciones).

3) Uno de los aspectos más significativos del sistema (para los especialistas del currículo) es la memoria a largo plazo (MLP) (llamada "base de datos"), en la cual la gente almacena todo lo que sabe acerca del mundo. Uno de los rasgos más interesantes de esta "base de datos" estriba en dos hechos: su capacidad<sup>5</sup> aparentemente ilimitada y la dificultad encontrada hasta ahora para recuperar la información previamente almacenada. Otro aspecto muy significativo de la MLP es su alto grado de organización. Casi todo lo que se sabe (por ejemplo, en MLP) está relacionado de algún modo con cada una de las cosas que se conocen. No es de extrañarse que las conversaciones o las asociaciones libres de ideas que comienzan con un tema puedan concluirse con otro. Ciertamente, es este alto grado de organización lo que ha conducido muy a menudo a los científicos cognoscitivistas a redescubrir y a depurar subsecuentemente la noción kantiana original de "esquema". Anderson (1977) resume así una reciente conferencia sobre ciencia cognoscitiva:

"El concepto fundamental desarrollado en esta conferencia fue el de **esquema**, idea que finalmente ha sido tomada en cuenta... Personajes como Max Wertheimer y Sir Frederic Bartlett desarrollaron teorías del esquema que tienen mucho en común con planteamientos de actualidad y, por supuesto, Jean Piaget continúa siendo el teórico sobresaliente del esquema. En Norte-

4. Sin embargo, véase Neisser (1976) y J. Anderson (1976) para argumentos en contrario.

5. Véase el estudio de casos de Luria (1968), sobre una patología fundada en esta capacidad ilimitada.

américa, esta noción es conocida desde hace mucho tiempo. Psicólogos y educadores bien enterados como Bruner (1960) y Ausubel (1963), se han ocupado de ella; sin embargo, hace apenas algunos años eran voces que clamaban en el desierto, lejos de las corrientes predominantes, ignorados por muchos y mal interpretados por unos cuantos. . . Quienes teníamos una visión diferente del mundo, fuimos capaces de refutar y en ese tiempo tuvimos un pensamiento afortunado. . . La fuerza del concepto de esquema consiste en dirigir la atención hacia la configuración de elementos. El conocimiento de cuáles son los elementos (del conocimiento) y cómo se interrelacionan éstos, son problemas que no ofrecen utilidad si se les considera por separado." (pp. 416-18).

Esta noción de MLP, en tanto que integrada por esquemas, está ampliamente difundida en la literatura actual sobre ciencia cognoscitiva. Los esquemas son "estructuras de datos para representar los conceptos genéricos almacenados en la memoria. Existen para conceptos generalizados que engloban objetos, situaciones, hechos, secuencias de hechos, acciones y secuencias de acciones." (Rumelhart y Ortony, 1977, p. 101).

Bransford y Johnson (1973), y más recientemente Anderson, Reynolds, Schallet y Goetz (1977), demostraron, mediante una serie de experimentos, que tratar de hacer inteligible un pasaje en prosa consiste en dar al mismo una formulación coherente. Estos trabajos indican que "la comprensión y, por lo tanto, el aprendizaje y la memoria, de-

penden del aprovechamiento adecuado de los esquemas" (Anderson, 1977, p. 421). Por esta razón la teoría del esquema implica que algunas porciones de MLP funcionen no solamente como un almacén de información, sino también como: a) un formato dentro del cual debe ser acomodada la nueva información, si es que ha de ser comprendida; b) un plan para dirigir nuestra atención y para dirigir las investigaciones intencionadas de nuestro ambiente, y c) como un recurso para llenar las lagunas de la información recogida.<sup>6</sup>

4) Hay dos conjuntos de procesos de control. Uno de ellos dirige las investigaciones de la base de datos, opera con ella y difunde la información entre los almacenamientos de información. Este conjunto de procesos de control recibe el nombre común de procesos interpretativos. Los procesos interpretativos desempeñan un papel significativo en la solución de problemas, en el recuerdo y el reconocimiento, así como en la comprensión del lenguaje y en las operaciones de cálculo. Estos procesos capacitan a los seres humanos para pensar de un modo deductivo, inductivo, analógico y algorítmico. Sin ellos, la mayor parte de lo que conocemos sería una información inútil, no importa cuán bien ni cómo haya sido aprendida.

El otro conjunto de procesos de control opera como un supervisor del sistema, que toma decisiones ejecutivas orientadas a que la investigación rinda buenos resultados; supervisa también la localización en la MLP de par-

tículas específicas de información así como la cantidad de esfuerzo requerida para investigaciones y otros operadores. Este conjunto de procesos de control es conocido como el sistema monitor. Si el sistema de procesamiento de la información en el hombre puede ser comparado con otros sistemas de procesamiento de la información, como es el caso de las bibliotecas, el monitor puede ser considerado análogo al índice bibliográfico y al sistema de catálogo a base de tarjetas; el intérprete, según esta analogía, sería el bibliotecario o cualquier otra persona que va por los libros a los estantes y después los vuelve al lugar que ocupan en los casilleros (Lindsay y Norman, 1977). Es el monitor el que tiene la capacidad de metamemoria (la de conocer lo que sabe). Esto puede ilustrarse fácilmente al tratar de dar respuesta a los siguientes tipos de preguntas (propuestas por Lindsay y Norman, 1977):

¿Cuál era el número telefónico de Rousseau?

Usted se niega a responder a esta pregunta porque sabe que el teléfono aun no había sido inventado en la época de Rousseau.

¿Cuál era el número telefónico de Dewey?

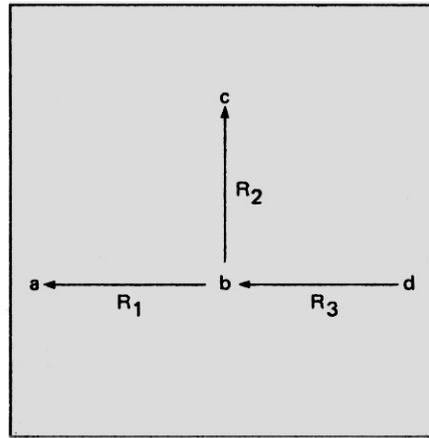
Usted también se niega a tratar de recordar el número, porque sabe que no lo conoce. ¿Cómo se da cuenta de esto?

¿Cuál es el número telefónico de su mejor amigo?

Según Lindsay y Norman:

"... Cuando se le pide recordar algo, usted no comienza a buscar ciegamente la base de datos. Por lo con-

6. Neisser (1976) desarrolla un punto semejante.



◀ Fig. 1. Un ejemplo común de una red simple que muestra los nodos a, b, c y d interconectados por líneas orientadas R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> y R<sub>3</sub>.

trario, el monitor indica los procesos interpretativos de análisis de la pregunta, para ver si tiene la probabilidad de encontrar algo. Con base en este análisis preliminar, usted puede concluir que no tiene sentido tratar de recordar los datos. Tal vez la información solicitada no existe. Puede ser también que la información exista, pero usted sabe que no la recuerda. . . Puede ocurrir que usted piense que es capaz de recuperar la información, si es que lo intentara, pero que ello requeriría demasiado esfuerzo para tomarse la molestia de hacerlo." (1977, p. 370).

Una de las contribuciones más significativas de los últimos desarrollos de la ciencia cognoscitiva es la precisión cada vez mayor con que somos capaces de especificar los procesos y estructuras cognoscitivas que se requieren para ejecutar tareas. Esta precisión creciente deriva de los esfuerzos de quienes se ocupan de la ciencia cognoscitiva para simular la conducta inteligente en una computadora. Las simulaciones de la computadora requieren la completa especificación, tanto de la base de datos, como de los procedimientos necesarios para ejecutar cualquier tarea que posea la característica de un funcionamiento inteligente. Si se omite algún aspecto de la base de datos o del procedimiento para utilizarlos, el programa sencillamente no opera o, por lo menos, no simulará con precisión la conducta humana. Los programas de la computadora, que simulan de manera efectiva la ejecución humana de tareas, son prospectos de modelos psicológicos. Estos modelos confiables (y probablemente existan varios modelos confiables para cualquier tarea dada)

están, por tanto, sujetos a validación psicológica, como la que se describe más adelante.

Como se dijo al principio, la mayor parte de los psicólogos cognoscitivistas cree que lo que una persona ya sabe y la forma como está organizado su conocimiento (por ejemplo, sus esquemas), son los determinantes primarios de lo que percibe, de lo que puede hacer y de lo que piensa (cf. Ausubel, 1968). Por tanto, un área de investigación importante para quienes se ocupan de la ciencia cognoscitiva ha sido la representación del conocimiento almacenado en la MLP.

### B. Representación de la base de datos, empleando redes semánticas

La investigación reciente en el dominio de la ciencia cognoscitiva se caracteriza por la proliferación de sistemas representativos de la información almacenada en la MLP (por ejemplo, la base de datos de un individuo). Sin embargo, muchos de estos sistemas han adoptado una nomenclatura común caracterizada por el empleo de **redes** para representar lo que un individuo conoce. Una red consta de un conjunto de nodos o puntos (a, b, c, . . . n) interconectados por un conjunto de líneas o flechas orientadas que se rotulan (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>. . . R<sub>n</sub>) como se observa en la **Figura 1**.

La unidad básica de esta red se denomina "Triple", y consta de dos nodos entre los cuales hay un enlace. Los nodos pueden representar objetos (por ejemplo, un tubo de prueba),

acciones (por ejemplo, verter algo), atributos (por ejemplo, vacío) o clases de objetos o de acciones (por ejemplo, cristalería o transferencia). Cada línea de esta red es "bidireccional, pero no simétrica." (Norman y Rumelhart, 1975, p. 35); es decir, el enlace entre dos nodos puede interpretarse como una R determinada o bien, en la dirección opuesta, por el inverso de R. Por ejemplo, si el nodo a representa el concepto "animal", el nodo b representa el concepto "mamífero" y R representa "subconjunto", entonces el inverso de R representa el "superconjunto", como se ve enseguida:

subconjunto  
 mamífero → animal y  
 superconjunto  
 mamífero ← animal

o más comúnmente

a → b, y  
 inverso de R  
 a ← b

Los cognoscitivistas han desarrollado muchas formas de representación del conocimiento a base de redes. Estas formas difieren entre sí por lo que respecta a los tipos de información que es representada por los nodos y las líneas que constituyen la red. Tulving (1972) dividió en dos las clases de información almacenada en la MLP, a las cuales denominó **episódica** y **semántica**. La memoria episódica se refiere a los hechos, tal como han sido experimentados; la memoria semántica se refiere a los conceptos extraídos de la experiencia y a la estructura definitoria de los

Abreviatura	Explicación de la relación	Ejemplo
EJD	es un ejemplo de	Fido $\xrightarrow{\text{EJD}}$ perro
Subclase	es una subclase de la clase de (miembro de la clase)	Sabueso $\xrightarrow{\text{subclase}}$ perro
TCUP	tiene como una parte	Perros $\xrightarrow{\text{TCUP}}$ cola
Propiedad	tiene como una propiedad o atributo	Sabueso $\xrightarrow{\text{propiedad}}$ orejas caídas
Representa	representa (o sea, es empleado como un símbolo para)	Perro $\xrightarrow{\text{representa}}$ perro
Estado	está en un estado de	Fido $\xrightarrow{\text{estado}}$ miedo

Cuadro 1. Lista de algunas relaciones generales encontradas en muchas áreas de la materia de enseñanza.

Fig. 2. Una red que representa una parte de la ciencia cognoscitiva. Adviértase que la red representa los principales elementos del modelo de procesamiento de la información en el hombre, pero es incompleta por lo que respecta a los detalles del modelo. El Cuadro 1 sirve como una clave parcial para las abreviaturas de la red.

conceptos interrelacionados.<sup>7</sup> La memoria semántica está representada en las redes semánticas por líneas dirigidas rotuladas que contienen conceptos (por ejemplo, perro), ejemplificaciones de conceptos (por ejemplo, este perro, o Fido), o atributos de conceptos de sus ejemplificaciones en los nodos así como las relaciones entre conceptos, sus ejemplificaciones y sus atributos.

En el trabajo que realizamos en Cornell, hemos encontrado que un número limitado de relaciones entre conceptos puede ser aplicado a través de las áreas de la materia de enseñanza a redes semánticas. Por lo general, estas relaciones derivan de la lógica. La expresión de estas relaciones extensamente aplicables puede abreviarse por razones de economía. El Cuadro 1 lista las relaciones de más amplia aplicación que hemos encontrado, así como sus abreviaturas correspondientes.<sup>8</sup>

7. Véase Schank (1975) para argumentos contra esta distinción y, más específicamente, contra la noción de memoria semántica.

8. Uno de los sistemas más útiles para representar la memoria episódica y la semántica así como la elemental (primaria) al que se refiere este artículo, fue desarrollado originalmente por un grupo de investigadores en la Universidad de California, San Diego, conocido como el Grupo de Investigación LNR (Peter, Donald Norman y David Rumelhart). Norman y Rumelhart (1975) hicieron una descripción completa del sistema LNR. En vista de que su sistema no fue diseñado para aplicaciones instructivas o curriculares, me he tomado grandes libertades para modificar su enfoque a fin de hacerlo más aplicable a nuestros propósitos en Cornell. Véase: Frederiksen (1975), Kintsch (1974), J.R. Anderson (1976) y Anderson y Bower (1973) para otros sistemas de representación que tienen alguna semejanza con el sistema LNR, pero con diferencias significativas.

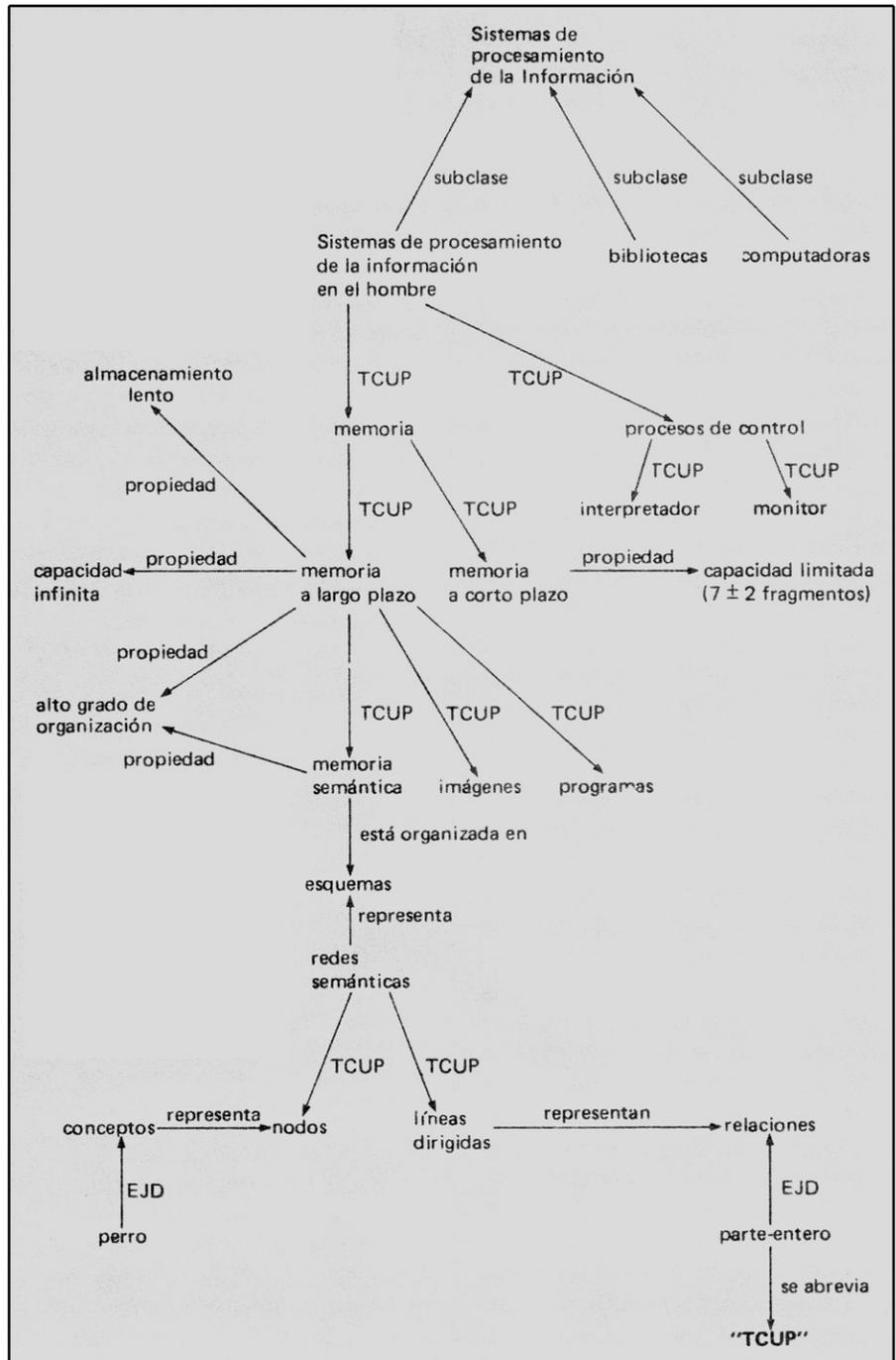
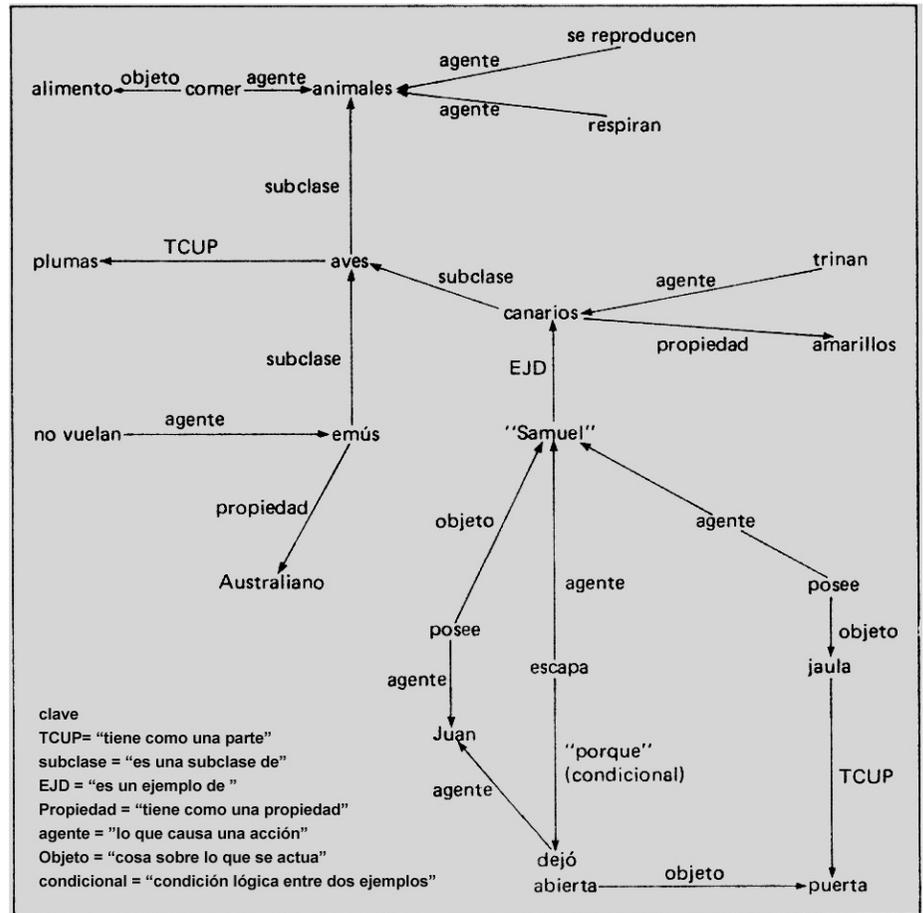


Fig. 3. Representación de la memoria, tanto episódica como semántica, de un estudiante hipotético, sobre las aves. (Adaptado de Atkin, 1977). ↓

Por supuesto, hay relaciones específicas para áreas de materias determinadas tales como "enlaza con" (anatomía, automecánica), y "es el total de" (matemáticas). Otras se aplican a varias materias, aunque ciertamente no a todas, como "varía inversamente a". Hemos encontrado que, dentro de una materia específica, el número total de relaciones necesarias para representar el conocimiento es muy limitado, posibilitando así la elaboración de diccionarios simples de relaciones para cada tema, los cuales probablemente no contendrían más de una o dos docenas de relaciones cada uno (artículos). La Figura 2, que aparece adelante, muestra una red semántica para una parte del conocimiento cognoscitivo, tal como se ha descrito hasta ahora en este artículo.

En la memoria episódica deben ser tomados en cuenta muchos aspectos del hecho experimentado: la acción, el agente (lo que causa la acción), los objetos (cosas sobre las que se actúa), los receptores (los que reciben el efecto de la acción), el tiempo (cuándo acontece el hecho), el lugar (dónde acontece el hecho), el instrumento (la cosa empleada para causar el hecho), y las condiciones lógicas (entre dos hechos, como "porque" y "solamente si"). (Fillmore, 1968).

Las memorias episódica y semántica no existen como entidades separadas ya que están muy interrelacionadas, aunque se establece una distinción entre las dos clases de información contenida en la misma base de datos del sistema de procesamiento de la información en el hombre.

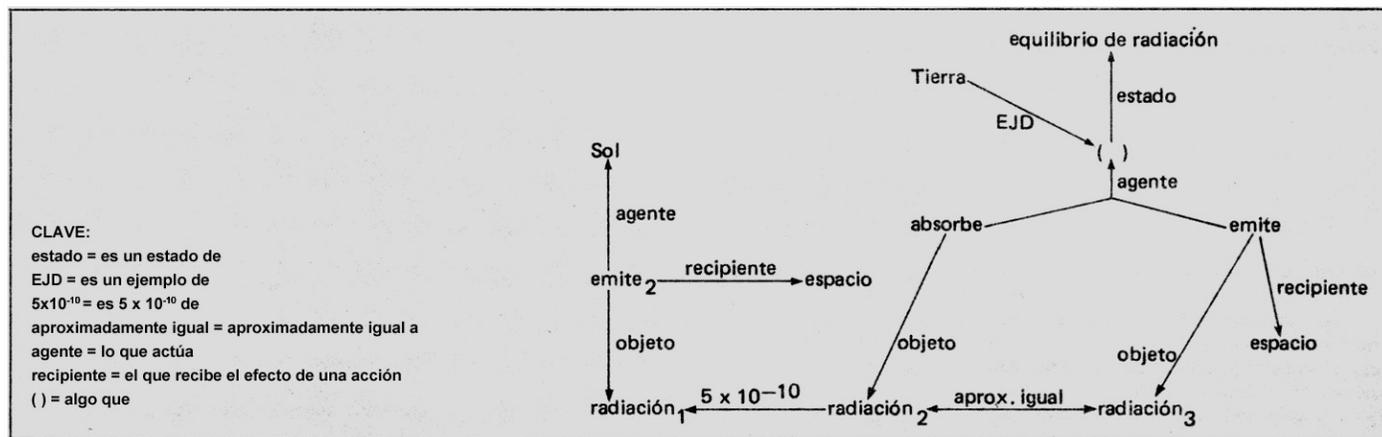


La Figura 3, que viene a continuación, suministra una representación de la información que un estudiante hipotético posee acerca de las aves (advértase la interrelación de la memoria semántica y la episódica):

- Todos los animales se reproducen, se alimentan y respiran.
- Un ave es un animal que tiene plumas.
- El emú es un ave australiana que no vuela.
- Un canario es un ave amarilla que trina.

"Samuel", el canario de Juan, escapó ayer de su jaula porque éste dejó la puerta abierta.

La interrelación de la memoria semántica y la episódica ha determinado que investigadores como Atkin (1977) y Stewart (1978) propongan redes en las cuales estén representadas, dentro de la misma red, las relaciones lógicas entre conceptos (como en la memoria semántica de Tulving) y las condiciones de los hechos (como en la memoria episódica de Tulving). Estas



redes híbridas son particularmente útiles para representar las proposiciones más importantes de algunas materias. Por ejemplo, las siguientes proposiciones de la ciencia de la Tierra (geología) pueden representarse en un esquema de "equilibrio de radiación" como el que se muestra en la Figura 4, que se representa enseguida:

La Tierra está en un estado de equilibrio de radiación.

Cuando algo se encuentra en un equilibrio de radiación emite y absorbe aproximadamente cantidades iguales de energía.

La Tierra absorbe su radiación del Sol.

El Sol lanza al espacio una cantidad de radiación de la cual solamente una proporción de  $5 \times 10^{-10}$  es absorbida por la Tierra.

La Tierra lanza su radiación al espacio.

El lector puede haber advertido que dentro de este esquema podemos especificar otros esquemas. Hay un esquema de absorción y dos esquemas de emisión. Cada uno de estos esquemas pudo haber sido descompuesto y presentado para incluir otros. Por tanto, debe quedar claro que los esquemas incorporan otros y que cada esquema incorporado provee, además, otro nivel de detalle. Igualmente, el lector habrá advertido que puede haberse incluido en la red mucha información adicional para ampliar su alcance. Por ejemplo, pudimos haber indicado que el Sol es una estrella (Sol  $\xrightarrow{\text{EJD}}$  estrella), que el espacio es amplio (espacio  $\xrightarrow{\text{propiedad}}$  amplitud), que la radiación solar con-

tiene rayos ultravioleta (radiación  $\xrightarrow{\text{TCUP}}$  rayos ultravioleta), que la Tierra es un pequeño planeta (Tierra  $\xrightarrow{\text{EJD}}$  planeta  $\xrightarrow{\text{propiedad}}$  pequeño); que la Tierra produce desde su interior su propio calor, pero que este calor solamente alcanza un  $\frac{25}{1000}$  del calor absorbido del Sol (Tierra  $\xrightarrow{\text{TCUP}}$  interior  $\xrightarrow{\text{agente}}$  produce  $\xrightarrow{\text{objeto}}$  calor  $\xleftarrow{2.5 \times 10^4}$  radiación<sub>2</sub>) y así sucesivamente.

En cierto sentido, se trata de un trueque entre el nivel de detalle (o sea la "resolución") y el alcance (o sea el "campo de visión") de la información incluida en la red. Cuanto más amplio "campo de visión" queramos para una red, menos "resolución" podremos darle. De igual modo, la más alta resolución de nuestra red (por ejemplo, la "granulación más fina") nos dará un campo más restringido. Cuando se representa una sola proposición, podemos llegar al detalle extremo, pero cuando se representa un curso entero de estudio, sacrificaremos muchos detalles para captar el alcance del curso. La mayor parte de las representaciones del conocimiento ocuparán un lugar entre estos dos extremos.

Las formas de la memoria episódica y semántica no agotan las clases de información que puede ser almacenada en MLP. Norman y Rumelhart (1975) expresan que la gente tiene también conocimiento de los procedimientos y que este conocimiento "de los procesos" puede ser almacenado en la MLP, donde, una vez almacenado, puede localizarse y operarse con él. Estos investigadores han formulado también sistemas que representan esta clase de

Fig. 4. Un esquema de "equilibrio de radiación".

conocimiento. Por otra parte, algunos investigadores creen que la gente almacena imágenes en la MLP (Paivio, 1971) aunque este es un problema que ha dado origen a algunos interesantes debates.<sup>9</sup>

Esta diferencia de enfoques del estudio de la MLP y la falta de acuerdo sobre cómo representar la información almacenada en ella, radica en las diferencias que hay en los fenómenos específicos que interesan al investigador. Los investigadores estudian diversas cuestiones y, por tanto, manejan datos distintos que requieren diferentes modos de representación de estos datos. El conocimiento de historias (Rumelhart, 1975), de párrafos (Meyer, 1974), de pasos de un procedimiento (Norman y Rumelhart, 1975), de rostros (Norman y Bobrow, 1976), de habitaciones y objetos (Minsky, 1975), de series de hechos experimentados (Shank, 1975), de conceptos de clase (Quillian, 1969; Lindsay y Norman, 1977), de emociones y sonidos, constituyen una varie-

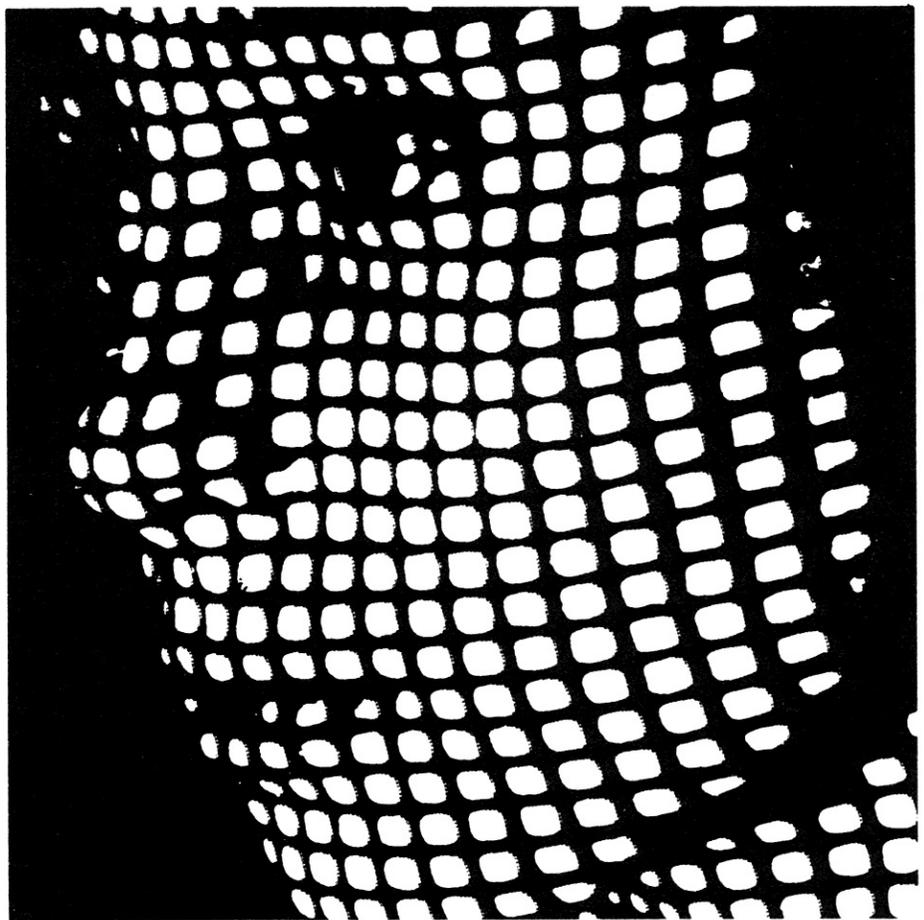
9. Véase, por ejemplo, Phyllyshyn (1973) y Paivio (1975).

dad de asuntos que plantean distintas demandas por cuanto a la forma como deben ser representados.

Aunque todos los aspectos arriba expuestos de una base de datos del individuo pueden ser pertinentes para algunos investigadores y diseñadores del currículo, el núcleo de lo que resta de este artículo versará sobre la memoria semántica y sobre las redes semánticas para representar el conocimiento conceptual. Esta idea tiene su fundamento en el supuesto de que las escuelas y universidades tienen como uno de sus propósitos esenciales transmitir materia de enseñanza organizada como, por ejemplo, los conceptos y proposiciones de distintas disciplinas del saber. Las redes semánticas parecen ser de gran utilidad para el estudio de la estructura de ese conocimiento conceptual. Investigadores y diseñadores más interesados en la enseñanza escolar, vista como experiencias a recordar, como percepciones visuales o auditivas que serán descodificadas, almacenadas y empleadas; como consecuencia de pasos de un procedimiento que se aprenderá, o como destrezas motoras que serán adquiridas, probablemente hallen enfoques más útiles que los descritos en este artículo.

### C. Validez de las representaciones del conocimiento

Las redes semánticas, como la que se ha presentado antes en la **Figura 2**, representan la "estructura del conocimiento". Esta estructura del conocimiento puede ser el conocimiento de un estudiante (por ejemplo, la **estructura cognoscitiva** organizada en esquemas),



el contenido de un conjunto de materiales de enseñanza (por ejemplo, la **estructura del contenido**), o el conocimiento que forma una disciplina (por ejemplo, la **estructura de una disciplina**). Asimismo, las representaciones de redes de conocimiento pueden ser extraídas de tres fuentes: del libre recuerdo de los estudiantes, de la respuesta dada a preguntas o de otras expresiones (que dan origen, por tanto, a una representación de la estructura cognoscitiva); de los análisis del material de enseñanza (que permiten elaborar una represen-

tación de la estructura del contenido), o del conocimiento del diseñador del curso, especialista en la materia de enseñanza (que da origen a una representación de la estructura del conocimiento en una disciplina). Atendiendo a la fuente de la red, podrá determinarse y probarse la validez epistemológica y psicológica de la misma.

En caso de que el planeador del curso trate de representar la estructura proposicional de un área de la materia de enseñanza, debe atenderse

a la validez epistemológica de la red. No se trata de pedir a un cuerpo de especialistas en su área que estimen directamente la validez de la red (lo que requeriría del experto que aprendiese las convenciones de la red), porque parece más factible pedir a los especialistas juzgar la validez de un conjunto de proposiciones derivadas de, o al menos congruentes con la red. Puede pedirse a los expertos que juzguen el valor de la verdad de cada aseveración, para enjuiciar la significación relativa de cada una de éstas, dentro de la disciplina y para examinar la lista completa de todas las omisiones significativas. Podrían emplearse también los resúmenes de varios libros de texto muy autorizados para una segunda revisión de la validez de la red.

Probar la validez psicológica de una red semántica es problema un poco más complejo. Una forma de probar la validez psicológica consiste en pedir a los estudiantes que hagan juicios acerca de las relaciones entre los conceptos y determinar si sus tiempos de reacción a las cuestiones corresponden a la "distancia psicológica" que hay entre los conceptos (por ejemplo, el número de líneas entre los nodos que debe ser atravesado para formular un juicio). Por ejemplo, la Figura 5 muestra una red semántica empleada en la investigación de Collins y Quillian (1969). Se pregunta al sujeto si X es una Y, o no, donde X y Y son nodos en la jerarquía. Conforme a la teoría psicológica, la vía para formular el juicio será tanto más larga cuanto más líneas tenga que atravesar para ello. La Figura 6 muestra una gráfica de las relaciones entre el tiempo de reacción y la distancia psicológica para la pregun-

ta: "X es una Y — ¿Sí o No?" Tal como se advierte aquí, la validez psicológica de la red semántica de la Figura 5 parece ser apoyada por el experimento.

Para evitar que el lector concluya de este estudio que la gente almacena la información semántica en jerarquías de subconjunto-superconjunto, debe mencionarse la investigación de Rosch (1973) y Rips, Shoben y Smith (1973). Estos investigadores han demostrado que muchos juicios de pertenencia a una clase no son logrados mediante el trazado de sus relaciones dentro de jerarquías conceptuales, ya que la mayor parte de la gente compara ejemplos con prototipos (buenos ejemplos) del concepto general. Veamos este caso: juzgar si una especie particular es un animal, implica la comparación de un ejemplar de esa especie con un animal prototipo, o, en otras palabras, hacer un juicio de clasificación "típica". Las cosas (por ejemplo, lobos) que se parecen al animal prototípico (comúnmente algo como un caballo o un perro) son juzgadas más fácilmente como animales que las cosas que difieren sustancialmente del prototipo (por ejemplo, arañas o esponjas). Esta explicación no pretende conciliar estos dos hallazgos de la investigación que están en conflicto. Solamente se trata de exponer la naturaleza compleja del problema de la validación psicológica y sugerir algunos enfoques empíricos viables para resolverlo.

Los puntos a discusión acerca de la validación psicológica de las representaciones a base de red son, en parte, cuestiones relativas a la evaluación de lo que la gente conoce o aprende realmente. Este problema se plantea en la última

Fig. 5. Ilustración de una hipotética estructura de memoria para una jerarquía de tres niveles. (De Collins y Quillian, 1969, y reproducida en Rumelhart, 1977, p. 231).

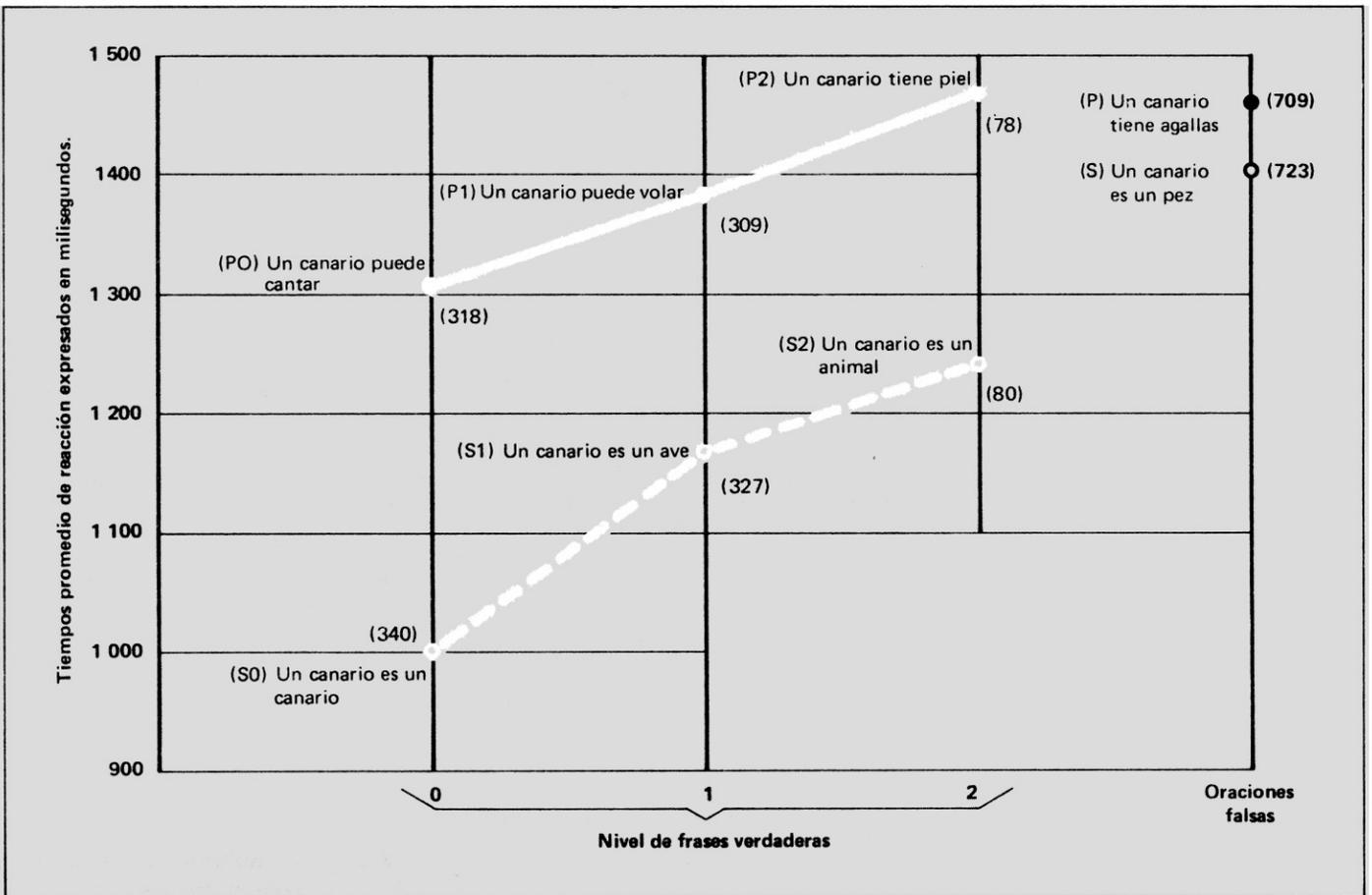
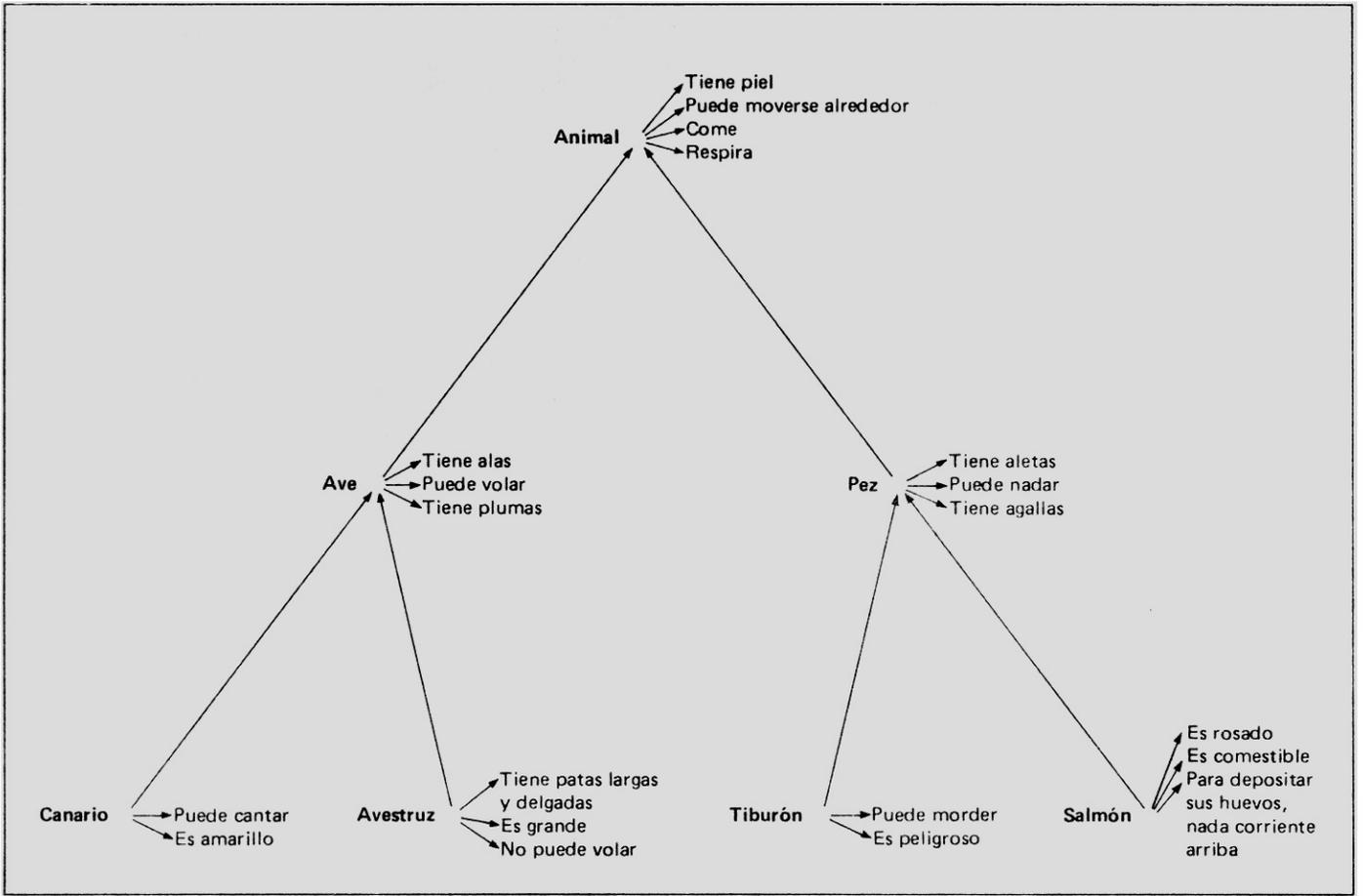
Fig. 6. Tiempos de reacción en una tarea de verificación de una frase, en tanto que función del nivel de la propiedad investigada del término escogido, en una jerarquía hipotética que muestra este cuadro. Los tiempos de reacción para las oraciones falsas se ilustran a la extrema derecha del cuadro. (De Collins y Quillian, 1969, y reproducido en Rumelhart, 1977, p. 232).

sección de nuestro artículo. En ella se explica el empleo de preguntas de prueba, los ejercicios, las entrevistas clínicas y la libre evocación para evaluar lo que aprende el estudiante con la enseñanza. Estas estrategias sirven, también, como enfoques potenciales para la validación psicológica de representaciones de redes del conocimiento.

## SEGUNDA PARTE

### Aplicaciones de la ciencia cognoscitiva al currículo

Los estudios sobre el sistema de procesamiento de la información en el hombre han producido modelos de las estructuras cognoscitivas y de los procesos necesarios para el funcionamiento de la inteligencia humana. Estos estudios han permitido penetrar en los requerimientos cognoscitivos de las tareas significativas, relacionadas con la escuela. Como resultado de ello, los actuales investigadores sobre el currículo disponen de una tecnología para examinar con detalle lo que implica responder a preguntas (tanto en las pruebas como durante la enseñanza), en actividades de clase y en comprender materiales de enseñanza (por ejemplo, lectura de un libro de texto). Del mismo modo, los planificadores pueden enfocar las tareas para expresar objetivos curriculares, para analizar la estructura del conocimiento en una disciplina, para evaluar el aprendizaje del estudiante y para describir el contenido puesto en un libro de texto a un grado de detalle nunca antes alcanzado por ellos. Pasemos, entonces, a plantear las implicaciones de la ciencia cognoscitiva en la investigación y el desarrollo del cu-



rrículo. Nuestra exposición está dividida en las siguientes partes: análisis de la disciplina, objetivos cognoscitivos, decisiones para la organización del contenido, análisis de contenido y evaluación del aprendizaje estudiantil.

#### A. Análisis de la disciplina

Para la planeación del currículo se ha reconocido como técnica útil trazar mapas de los conceptos principales y de las relaciones entre éstos (Weil y Joyce, 1978, pp. 204-214; Stewart *et al.* (en prensa); Gagné y Briggs, 1974; Novak, 1977; Senesh, 1973; Posner y Rudnitsky, 1978). Sin embargo, estos intentos presentan algunas limitaciones. Las aplicaciones del enfoque de Ausubel a la estructuración del currículo mediante el trazado conceptual, hechas por Novak,\* (1977), Stewart *et al.* (en prensa) así como por Weil y Joyce (1978, pp. 204-214), se han basado exclusivamente en las relaciones de clase entre los conceptos. El trabajo de Gagné y Briggs (1974) ha versado estrictamente sobre las relaciones de prerrequisito entre las destrezas, encubriendo de este modo la diversidad de relaciones que hacen de cualquier destreza un prerrequisito para otra.<sup>10</sup> Senesh (1973), así como Posner y Rudnitsky (1978), incluyen en sus mapas conceptuales una consideración de las relaciones entre los conceptos, pero no proporcionan procedimientos explícitos para decidir qué relaciones precisas deben ser incluidas en los mapas,

ni dicen cómo relacionar las principales proposiciones de una disciplina con los mapas conceptuales, ni cómo decidir las relaciones que son necesarias y suficientes para ser incluidas. Sin embargo, las redes semánticas pueden ser consideradas como una prolongación de estos esfuerzos anteriores, poniendo un énfasis creciente en la especificación de la diversidad de relaciones entre los conceptos principales de una disciplina.

Mediante el dibujo de la estructura conceptual de una disciplina a base de redes semánticas, y recorriendo en sentido progresivo y regresivo estas redes y listas de conceptos y proposiciones, es probable que surjan ideas que tal vez no se hubieran originado sin el empleo de estas redes representativas. Con el empleo de redes, el planeador es capaz de corroborar si una serie de proposiciones y de conceptos ha sido comprendida. Pueden hacerse explícitas las relaciones implícitas que existen entre los conceptos, lo cual puede sugerir a su vez proposiciones adicionales; pueden hacerse más claros los conceptos que auxilian al estudiante para advertir la coherencia de la materia de enseñanza e identificar también los conceptos necesarios para expresar proposiciones importantes, y, por tanto, pueden encontrarse los enlaces entre dos esquemas sin aparente relación.

Construir una red que sea congruente con un conjunto de conceptos y proposiciones, es un ejercicio que

auxilia al planeador para "desempacar" la estructura conceptual de la disciplina (Gowin, 1970). Esto mismo contribuye a que el planificador adquiera el "conocimiento de su conocimiento" de manera más amplia (Gowin, 1977), lo cual distingue al planificador del especialista en la materia.

Otro enfoque para representar la estructura del conocimiento en una disciplina consiste en desarrollar las representaciones de la estructura cognoscitiva de expertos en una materia específica. Este planteamiento se basa en el supuesto de que las disciplinas del conocimiento existen en las mentes de los especialistas y que, por lo mismo, el problema de la representación del conocimiento puede ser analizado empleando enfoques psicológicos.

La sección destinada a la evaluación del aprendizaje estudiantil (que viene adelante) presenta técnicas potenciales para evaluar el estado de conocimiento de cualquier persona, ya se trate de un estudiante o de un especialista.

#### B. Objetivos cognoscitivos

Hay debate entre quienes sustentan la idea de plantear objetivos conductuales y quienes optan por los objetivos generales.<sup>11</sup> Del examen de los escritos que con este motivo se han producido, podríamos concluir que la elección es muy simple: o planteamos objetivos en términos de conductas observables y mensurables (lo cual, según los críticos de los objetivos conductuales, conduce a la trivialización del currículo), o los planteamos en términos generales,

\* De este mismo autor, *Perfiles Educativos* publicó, en el Núm. 1, correspondiente a julio-agosto-septiembre 1978, el artículo titulado: "El proceso de aprendizaje y la efectividad de los métodos de enseñanza", pp. 10-31. (N. del E.).

10. Véase Strike y Posner (1976) y Posner y Strike (1969).

11. Véase, por ejemplo, Eisner (1969) y Popham (1969).



a menudo vagos (lo que a juicio de los críticos de los objetivos generales conduce a la imprecisión y a la falta de claridad).

La pregunta que cabe es: ¿podremos lograr precisión, claridad y especificidad sin apoyarnos solamente en conductas observables y mensurables? (Ver: Strike y Posner, 1974, para un análisis epistemológico de esta cuestión). Los avances que ha logrado recientemente la ciencia cognoscitiva y el trabajo de Greeno (1976) sobre "objetivos cognoscitivos" (término que emplearemos para referirlo solamente al concepto de Greeno y que no debe ser confundido con el empleo común que se deriva de la taxonomía de Bloom), sugieren específicamente que sí podemos lograrlo. Como lo ha expresado Hayes (1976):

"Para especificar un objetivo conductual de enseñanza, planteamos un conjunto específico de conductas que deseamos que el estudiante sea capaz de ejecutar después de la enseñanza; por ejemplo, resolver una serie

determinada de problemas aritméticos, o responder a preguntas hechas acerca de un capítulo del texto de historia. Para especificar objetivos cognoscitivos, enunciamos un conjunto de cambios que la enseñanza provoca en el proceso cognoscitivo del estudiante, por ejemplo, el logro de un algoritmo específico para la división, o la asimilación de un conjunto de hechos históricos para información, ya en la memoria a largo plazo" (pp. 235-236).

En este sentido, los objetivos cognoscitivos evitan el enfoque estrecho de los objetivos conductuales sobre la ejecución, especificando el proceso cognoscitivo y las estructuras en que se apoya la buena ejecución.

Macdonald-Ross (1975) señala que los objetivos conductuales sobrestiman las listas:

"Muchas de las dificultades superficiales experimentadas por quienes tratan de aplicar (objetivos conductuales), son causadas por profundos problemas subyacentes. . . Uno de estos problemas

se refiere a la estructura del conocimiento. Por cuanto el conocimiento o la comprensión presuponen cierta coherencia entre las ideas —una mutua adecuación o entrelazamiento de partes para formar un total significativo—, es difícil ver por qué los defensores de (objetivos conductuales) son tan adictos a enumerar (listar) estructuras. Puesto que los objetivos conductuales son presentados en listas, éstas destruyen virtualmente cualquier estructura que pudiera haber existido alguna vez. . . Ello ha mostrado que ahí no hay procedimientos que justifiquen la inclusión o exclusión de un objetivo determinado, a menos que, a) se relacione con una tarea obviamente necesaria, o b) que recurra al presentimiento o a la intuición. Esto se desprende de la falta de una vía para representar la estructura total que permita completar la interrelación de las partes en términos manipulables" (pp. 373-374).

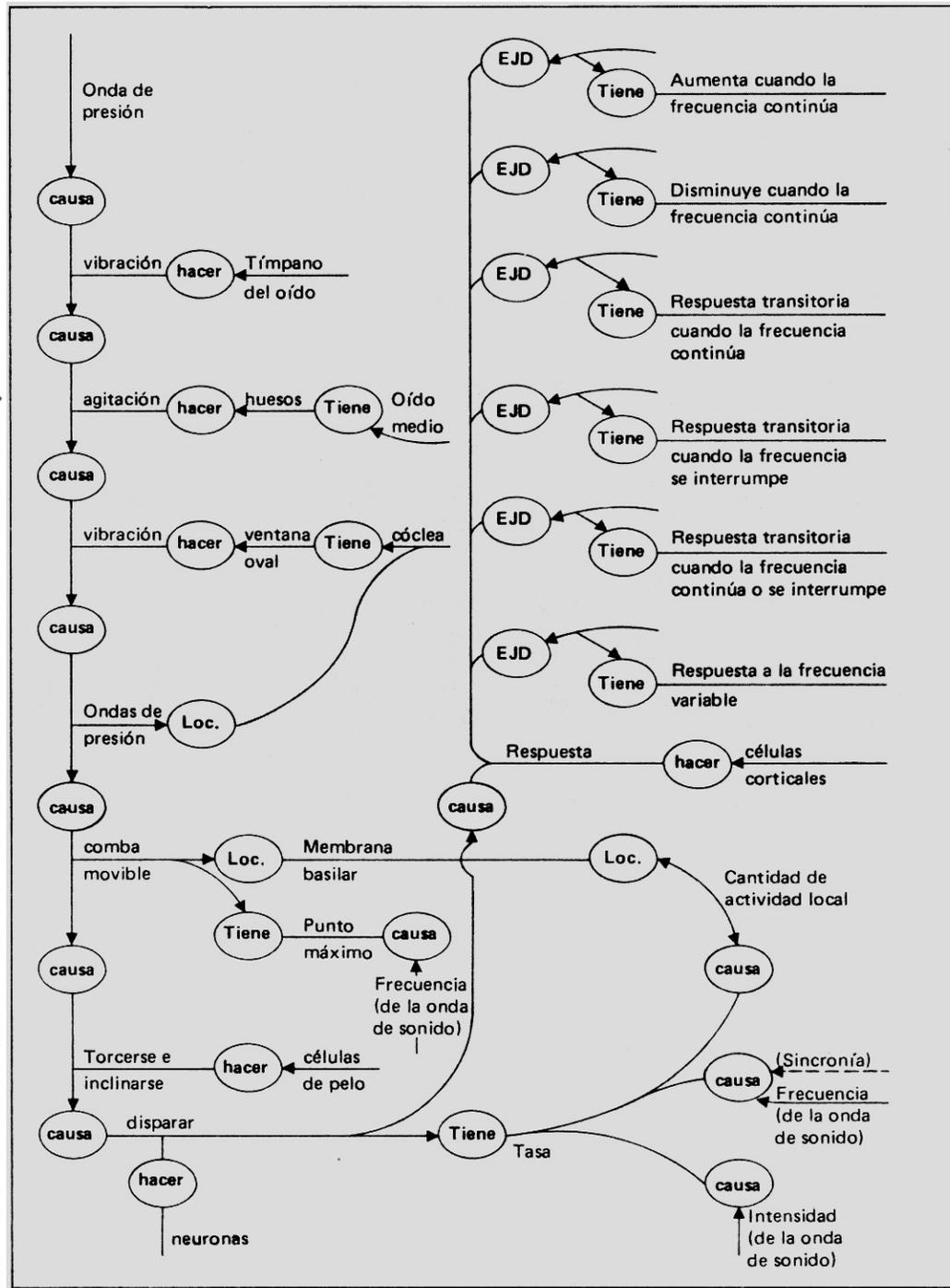
Al emplear las redes representativas del conocimiento, Greeno evita las limitaciones que conlleva el apego a las listas, que Macdonald describe tan claramente. El trabajo de Greeno demuestra que los recientes desarrollos de la ciencia cognoscitiva han contribuido, tanto a una profunda comprensión del proceso cognoscitivo y de las estructuras en que se apoya la ejecución competente de las tareas típicamente enfrentadas en las materias escolares, como a la de las muy depuradas técnicas que permiten representar estos procesos y estructuras, a fin de que los planificadores del currículo puedan especificar adecuadamente los resultados presupuestos del aprendizaje. Los ejemplos que presenta Greeno cubren una com-

Fig. 7. Red de proposiciones acerca de lo que ocurre cuando se percibe un sonido. (De Greeno, 1976, p. 154).

pleta y amplia gama de dominios del conocimiento que va desde destrezas algorítmicas requeridas para calcular fracciones, hasta los procedimientos de solución de problemas y las estructuras de conocimiento necesarias para elaborar pruebas geométricas; también cubren la comprensión de la psicofísica auditiva necesaria para responder a cuestiones complejas de la psicología de la percepción.

Los últimos ejemplos de Greeno son particularmente interesantes porque demuestran el empleo de técnicas de la ciencia cognoscitiva para especificar, en términos casi precisos, lo que significa comprender un conjunto de conceptos y proposiciones. Al especificar la compleja red de interrelaciones entre los conceptos, se describe con suficiente detalle el esquema respectivo que los estudiantes esperan lograr en este curso universitario y el papel que juega este esquema para dar respuesta a las preguntas de clase o de examen, que requiere este conocimiento. La Figura 7 representa la base de datos para la psicofísica auditiva.

El trabajo de Greeno prueba la utilidad de considerar que el planteamiento de objetivos es un caso particular del problema más general de la representación del conocimiento. Muestra, además, hasta dónde puede contribuir nuestra mayor comprensión de las estructuras y procesos cognoscitivos a la precisión con la cual podemos representar aquellos aspectos de la actividad cognoscitiva que, en calidad de planificadores del currículo, deseamos que adquieran los estudiantes como resultado de la enseñanza. Finalmente,



Greeno intenta relacionar estas estructuras y procesos cognoscitivos internos con las capacidades de los estudiantes para llevar a cabo tareas cognoscitivas, tales como responder a cuestiones complejas.

**C. Decisiones para organizar el contenido**

El planificador del currículo se enfrenta a menudo con la necesidad de tomar decisiones relativas a la organización de las materias, tales como, por ejemplo, si dos temas deben tratarse en

forma separada, o si se deben presentar en forma integrada.

Por ejemplo: supóngase que una persona está planificando un curso sobre medición. Esta persona elabora redes separadas para los temas de validez de contenido y validez predictiva. Posteriormente, debe decidir si esos dos temas pueden relacionarse. Puede examinar las dos redes para buscar los conceptos comunes que quiere presentar antes de exponer los conceptos específicos para cada tema, o puede tratar de inte-

grar totalmente los dos temas, buscando las vías para combinar las dos redes. Las dificultades que el planificador enfrenta para integrar las dos redes semánticas, en alguna medida probablemente se equiparen a las dificultades que tienen los estudiantes para integrar dos esquemas. Paralelamente, las dificultades que encuentra un planificador para relacionar un nuevo concepto en una red semántica dada, se equiparan a las dificultades que el estudiante tendrá para aprender el nuevo concepto de manera significativa. Después de todo, el aprendizaje significativo ocasiona en parte la integración de los nuevos conceptos dentro de un esquema que existe en la memoria a largo plazo. Obviamente, la construcción de la red no determina las decisiones de planeación en el diseñador del curso, pero ciertamente las redes le sirven como una guía en esta clase de decisiones.

#### D. Análisis de contenido

Las redes semánticas pueden considerarse una forma de representar gráficamente la estructura conceptual de un conjunto de materiales de enseñanza (por ejemplo, libros de texto). Por eso, las redes semánticas representan una técnica útil para el análisis de contenido. Esto mismo permite comparar distintos materiales de enseñanza con base en el contenido que se enseña y cómo se organiza ese contenido. La estructura del contenido de un libro de texto puede ser comparada con la estructura del conocimiento, tal como lo contemplan los especialistas en la materia. Puede ser analizado un libro de texto que carece de un anexo de ejercicios y, con base en este tipo de análisis, se pue-

den diseñar las actividades del propio estudiante y completar así el texto. Al planear un nuevo curso se puede analizar el contenido de los cursos que se consideran como prerrequisito para el nuevo, y del que debe seguirse para permitirle continuidad y aprendizaje acumulativo. Puede investigarse en qué medida la estructura del contenido de un texto afecta la estructura cognoscitiva de los estudiantes.<sup>12</sup>

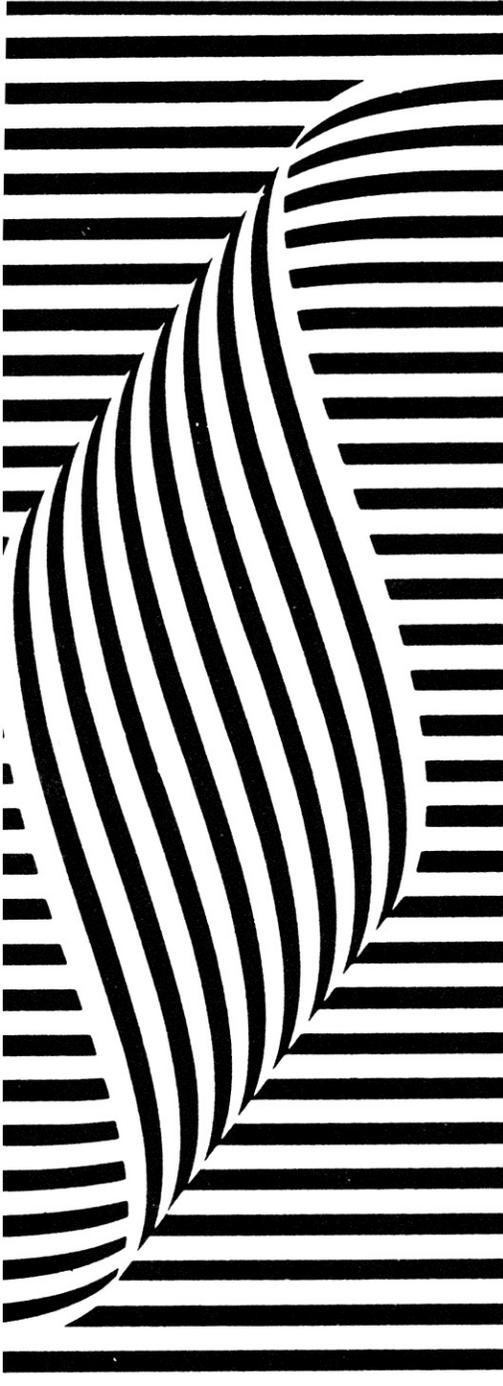
En cada caso, el empleo del análisis de contenido intentará, en primer término, que el analizador elabore una lista de los conceptos y proposiciones más importantes que contienen los materiales de enseñanza y que haga un resumen (o un conjunto de resúmenes) del contenido. A partir de posteriores revisiones de dichas listas y resúmenes, el analizador puede desarrollar una red semántica consistente con estas otras representaciones. Por ejemplo, se tomaron cinco proposiciones sobre la Tierra del libro de texto del primer año de bachillerato: *Investigación de la Tierra* (Proyectos de Currículo sobre Ciencia de la Tierra, 1967), y con esas proposiciones se desarrolló la red que muestra la *Figura 4*. La red presenta el dibujo de las complejas relaciones que se advierten entre los elementos del contenido. Esta capacidad de representar la complejidad conceptual de una manera sencilla es lo que confiere a las redes semánticas su utilidad para el análisis de contenido, así como para otras aplicaciones.

Otra área para el análisis de contenido la constituyen las actividades de

enseñanza (en la clase). Por ejemplo: los educadores, al tratar de individualizar las actividades de los estudiantes, necesitan saber qué es lo que hace a unas actividades más eficaces para un estudiante que para otro. "Para descubrir esto, sería preciso analizar la actividad en una vía teóricamente significativa, pero no sabemos todavía cómo hacer esto. Por tanto, propongo que dentro del programa de investigación contemplado se dé una alta prioridad a una investigación teórica y empírica, conducida con todo cuidado, sobre las relaciones entre aspectos estructurales específicos de las actividades y de los resultados detallados" (Walker, 1978, p. 8).

Por supuesto, se admite que la estructura del contenido de las actividades es sólo una de las varias estructuras (por ejemplo, también existe la estructura social). Sin embargo, las técnicas y lucubraciones de la ciencia cognoscitiva ofrecen un recurso desaprovechado actualmente para analizar y representar la estructura del contenido de las actividades de clase. La ciencia cognoscitiva ofrece un conjunto de técnicas que pueden emplearse para investigar los efectos de distintas formas de actividad en el salón de clase. Esta investigación puede iniciarse con "un análisis... de la estructura del contenido de las actividades, siendo incluida también su ejecución y su estructura social, y con... base en sus resultados, podrán diseñarse versiones alternativas que pueden diferir en su forma pero que serán pertinentes a la investigación respectiva" (Walker, 1978, p. 14).

12. Véase la revista de investigación de Frase, sobre este punto.



### E. Evaluación del aprendizaje del estudiante

Si, como lo afirma Greeno, una red semántica representa los esquemas que se pretende desarrollar en los estudiantes, como resultado de la enseñanza, estas redes pueden ser empleadas también en las tareas de evaluación. Las redes semánticas ofrecen la guía para elaborar las preguntas sobre el contenido que deberá abarcar dicha prueba; o, dicho de otro modo, la validez del contenido de una serie de preguntas puede ser verificada con referencia a la red representativa del contenido.

En algunas de las investigaciones que llevamos a cabo en Cornell, se han efectuado entrevistas clínicas con los estudiantes, antes de la enseñanza, para determinar qué era lo que ya sabían (como lo propone Ausubel, 1968). Así, después de haberse impartido la enseñanza, con base en ese conocimiento previo, se llevan a cabo nuevas entrevistas para determinar lo que los estudiantes han aprendido, tanto como resultado de la enseñanza, como a pesar de ella. En estas entrevistas se utilizó una forma incipiente anterior de red semántica que le prestó una gran ayuda al entrevistador para probar posibles errores de concepción. (Pines, 1977; Rowell, 1978).

En estas técnicas y, de hecho, en la mayoría de los casos de evaluación, las respuestas del estudiante a las preguntas que se le plantean son una fuente primaria de información acerca de lo que los estudiantes saben. Sin embargo, el modelo de procesamiento de la información del hombre, que hemos presentado anteriormente, sugiere el cuidado

que debe tenerse al efectuar la evaluación. En el mejor de los casos, las inferencias que se relacionan con la base de datos de los estudiantes, a partir de las respuestas (o falta de respuestas) a las preguntas hechas conllevan su riesgo. Todas las preguntas, aun las más simples, presentan un complejo de tareas cognoscitivas y, por tanto, no pueden ser interpretadas como una indicación directa de lo que se ha almacenado en la MLP.

Probablemente Walker está en lo cierto al decir que "cuando entendamos la propia situación de prueba, estaremos capacitados para diseñar y rediseñar las mediciones adecuadas para resultados que difieren. Mi opinión es que no entenderemos las otras estructuras de actividad (siendo una de ellas la aplicación de la prueba) y sus efectos, en tanto no comprendamos a quienes están involucrados en ella. Por eso yo colocaré la investigación de la estructura de la situación de prueba en la parte más relevante de mi lista de prioridades" (Walker, 1978, p. 6-7).

La ciencia cognoscitiva aun está por producir algo semejante a la clase de "teoría o modelo de realización" que tanto necesitamos, como lo dice Walker (1978, p. 52); pero tal aportación ya tiene sus principios en los recientes estudios hechos sobre tareas de pregunta-respuesta.

Una síntesis de las ideas de varios científicos cognoscitivistas (específicamente Greeno, 1976, Lindsay y Norman, 1977, y Scragg, 1975) proporciona el esquema de algunas de las tareas cog-

noscitivas requeridas para responder a preguntas propias de clase o de examen.

1. Debe comprenderse la pregunta. Esto requiere gran conocimiento de la materia; reglas sintácticas; un léxico verbal para descodificar la pregunta (todo en MLP), y el empleo de aquel conocimiento que permite elaborar una interpretación de la información suministrada en esa pregunta.

2. A fin de que el estudiante sea capaz de elaborar una respuesta que dé una explicación adecuada, debe haber aprendido primero lo que constituye una explicación de algo. Las explicaciones apropiadas reúnen ciertas clases de elementos y deben organizarse conforme a determinadas reglas, mismas que también deben formar parte de la base de datos del estudiante (por ejemplo, MLP).

3. El estudiante también debe decidir si puede responder o no a la cuestión y si vale la pena, o no, hacerlo. Estas son las funciones del sistema monitor.

4. Una vez que el monitor decide que la investigación alcanzará probablemente el éxito, y que se activa, el esquema del estudiante para la "explicación", se inicia la investigación de la MLP, guiada por el proceso interpretativo para la información pertinente.

5. Es obvio que se requieren diferentes clases de preguntas para distintas clases de búsqueda de la base de datos; diferentes clases de información en la base de datos y distintas manipulaciones de los procesos de interpretación de la información, una vez encontrada ésta dentro de la base de datos.

Preguntas de SI-NO, requieren a menudo (aunque no siempre) sólo la recuperación directa de la información o deducciones simples. Por ejemplo, la Figura 8, muestra un fragmento de lo que un estudiante hipotético sabe acerca de los avestruces.

La pregunta "¿pueden volar los avestruces?" necesita solamente que se haga una confrontación para ver si una de las proposiciones que se aplican a los

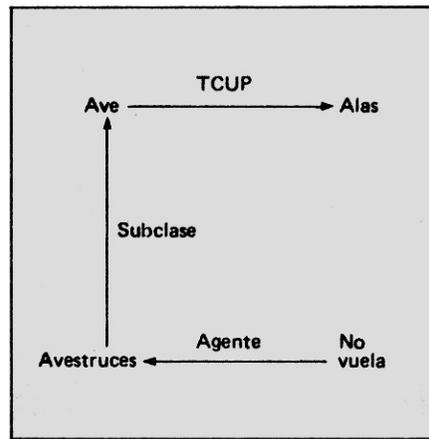


Fig. 8. Esquema para "avestruces", tal como lo ha aprendido un estudiante hipotético.

avestruces se refiere a volar. La pregunta "¿tienen alas los avestruces?" requiere de la siguiente deducción: Las aves tienen alas; los avestruces son aves, luego los avestruces tienen alas.

¿Qué ocurre si las preguntas condicionales ("si... entonces...") requieren que se revise toda la red, examinando rutas alternativas a varios nodos de la misma, manteniendo las consecuencias de las rutas alternativas que se siguen en la MCP, en tanto se recorren todavía otras rutas alternativas, haciendo todo esto sin perder nuestro sitio en la red? No parece extraño que el examen de cursos de acción alternativos sea una tarea difícil aun con ayudas externas a la MCP (tales como lápiz-y-papel). Es evidente que para responder a aquellas preguntas que remiten al conocimiento pertinente de la MLP, se necesita algo más.

Las preguntas de comparación como: "¿En qué difieren los avestruces de los canarios?" requieren esquemas comparativos de memoria; en este caso, el esquema del avestruz (citado arriba) y el esquema del canario, de la Figura 3, es el proceso interpretativo el que realiza esta comparación. Las preguntas causales ("por qué") ofrecen probablemente el mayor problema para el sistema de procesamiento de la información en el hombre. Por ejemplo: ¿Por qué se calienta la probeta? Esta es una pregunta a la que se puede responder con varias explicaciones:

a) Porque la reacción química de la solución que contiene la probeta genera calor que se comunica a la pared de vidrio que encierra la solución.

- b) Porque la persona no colocó cubos de hielo en ella.
- c) Porque la persona estuvo haciendo algo en ella.
- d)  $\text{HCl} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl} + \text{calor}$ .
- e) Porque la solución que contiene comenzó a "humear".
- f) Una reacción química.
- g) Por magia.

Es probable que la decisión de lo que significa "por qué", o sea lo que constituye una respuesta, sea tal vez más difícil de contestar que dar respuesta a la pregunta cuando eso es conocido. Como se dijo antes, esta clase de decisiones es una función del sistema monitor.

Se ha examinado este tipo de preguntas para comunicar al lector la índole de los recientes análisis de preguntas-respuestas, hechos por los cognoscitivistas. La mayor parte de estos análisis expresa que tareas de preguntas-respuestas (aun las muy simples), rinden más provecho si se las observa como actividades de solución de problemas y no como recuperación simple de información almacenada. Lindsay y Norman (1977) expresan que los análisis de intentos para responder a muchas preguntas "de recuerdo", revelan la naturaleza reconstructiva y las características de solución de problemas que poseen tales preguntas.

6. Una vez que la información pertinente es localizada, contruida y/o reconstruida, debe ser manejada (nuevamente por el proceso interpretativo) para elaborar una explicación.

7. Tan pronto se elabora la explicación, debe ser codificada dentro del lenguaje empleando las mismas reglas sintácticas y el acervo verbal (de MLP) utilizado por el estudiante para descodificar la pregunta original.

8. Finalmente, se emplean las destrezas motoras de expresión para comunicar la "respuesta"

Este esquema no está presentado con suficiente detalle para explicar todas las tareas implicadas al responder a una pregunta. Pero aun esta versión simplificada muestra la complejidad del proceso y la cantidad de factores que pueden intervenir entre una pregunta de un profesor o una prueba, y la respuesta del estudiante. (No he mencionado tampoco otros factores como la atención y la motivación). La buena ejecución depende en gran parte de algo más que poseer el conocimiento adecuado en MLP. Las respuestas que una persona dé a las preguntas suministran la base para inferir en gran medida lo que una persona sabe (o sea, qué información posee en MLP), aunque dichas respuestas sean nuestros medios primarios para evaluar el conocimiento. Como lo ha expuesto Strike (1977): es como si tratáramos de determinar la economía de la ciudad de Nueva York observando el tránsito de vehículos que fluye por los puentes; algo engañoso y complejo, pero no imposible. Evidentemente, debe tenerse gran cuidado al extraer de cualquier clase de expresiones del estudiante nuestras inferencias acerca de la estructura cognoscitiva. Sin embargo, cuanto más adecuado sea nuestro modelo teórico en relación con las estructuras y proce-

### Grabación transcrita

- P. ¿Qué significa "estar vivo"?
- R. Significa que usted crece.
- P. ¿Y qué significa crecer?
- R. Crecer significa que usted se puede mover, como el viento que sopla y hace que el maíz se mueva. El viento lo hace y la gente lo hace siempre.
- P. ¿El viento tiene vida?
- R. Sí.

### Transformación en un discurso independiente del entrevistado:

Con vida significa que usted crece.  
 Crecer significa que uno puede moverse, como sopla el viento y hace que el maíz se mueva. El viento lo hace (se mueve) y la gente lo hace a toda hora.  
 El viento tiene vida.

### Transformación en formato propocional

1. Con vida significa que usted crece.
2. Crecer significa que usted se puede mover, como sopla el viento y hace que el maíz se mueva.
3. El viento lo hace (se mueve) y la gente lo hace a toda hora.
4. El viento tiene vida.

o bien:

1. Con vida significa que usted crece.
2. Crecer significa que usted se mueve.
3. El viento sopla y hace que se mueva.
4. El viento lo hace (se mueve) a toda hora.
5. La gente lo hace (se mueve), en todo tiempo.
6. El viento tiene vida.

sos cognoscitivos, implicado en la respuesta a preguntas, mejores serán nuestras inferencias acerca de lo que una persona sabe, a partir de dichas respuestas. Tal modelo auxilia también para identificar la naturaleza de los supuestos hechos al inferir todo acerca de la estructura cognoscitiva de los estímulos (o sea, de las preguntas) o de la respuesta y "al seguir la pista y eliminar consideraciones alternativas" (Strike, 1977).

Un enfoque interrogativo que como método de evaluación del aprendizaje estudiantil fue aplicado en Cornell, incluye el empleo de entrevistas clínicas (Pines y otros, 1978) y otras técnicas de interrogatorio abierto (Posner y otros, 1977). Después de obtener las respuestas del estudiante a las preguntas, dichas respuestas se transforman finalmente, mediante una serie de pasos, en redes semánticas, para el análisis posterior.

Por ejemplo, Pines (1977) entrevistó a alumnos de primer grado en ciencia. El Cuadro 2 ofrece una transcrip-

ción parcial de una de sus entrevistas y de las transformaciones que resultan de su análisis.

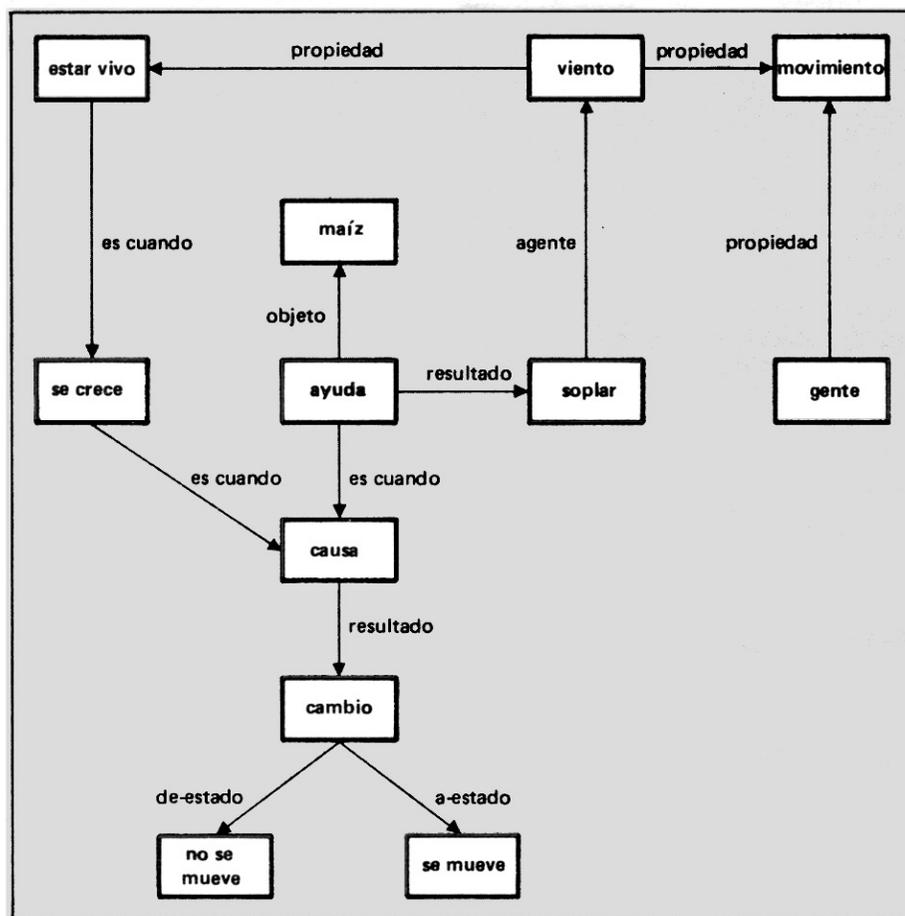
Cada conjunto de las proposiciones resultantes de este análisis se puede representar en una red como la que muestra la Figura 9.

Estas redes pueden compararse con las que representan el mismo conocimiento del estudiante en un momento distinto, así como con las de un estudiante distinto o con la de una representación esquemática del mismo dominio del conocimiento (como se describe en los materiales de enseñanza o como es expuesto por un especialista en la materia).

También pueden construirse redes semánticas que representen estructuras alternativas de un dominio de conocimiento específico, para guiar al entrevistador en la elección de preguntas adecuadas que exploren sistemáticamente un conocimiento del estudiante, dentro de cierto dominio dado. El entrevistador principia por mostrar o describir al

◀ Cuadro 2. Secuencia de la transformación de una entrevista transcrita a la forma proposicional (tomado de la entrevista con un alumno de primer grado por Pines, 1977, p. 75).

Fig. 9. Red que representa las proposiciones de Pines (1977, p. 75). Se emplea una adaptación de Redes Estructurales Activas (véase Norman y Rumelhart, 1975). El Cuadro 1 y los Cuadros 3 y 4 suministran las claves de las relaciones rotuladas. ↓



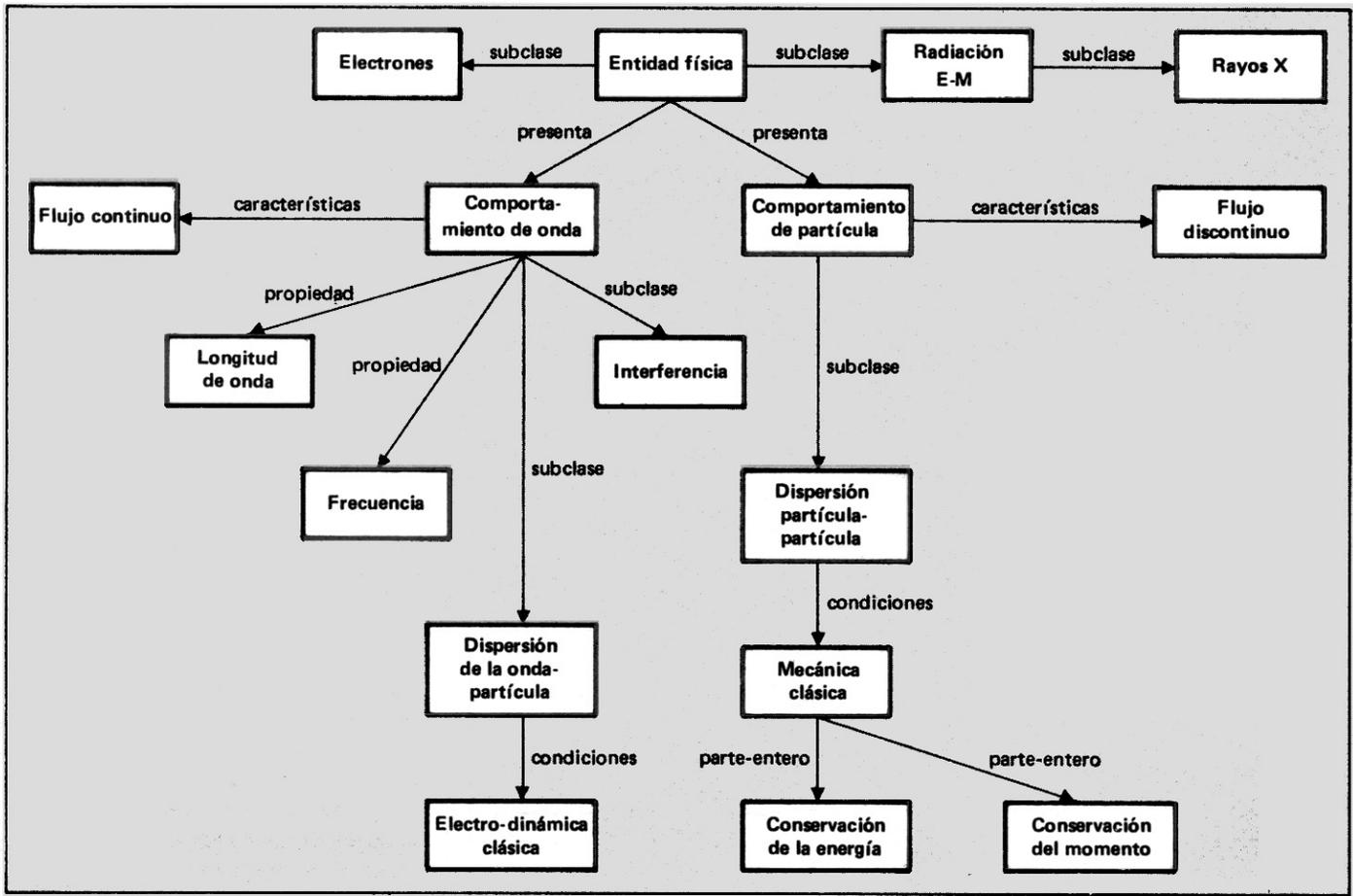
estudiante algún objeto, hecho o cuadro de un objeto o suceso (por ejemplo, una batería y un foco). Después, el entrevistador hace una pregunta general como: "¿Qué puede usted decir acerca de esto?" Esta pregunta general es seguida de una serie de preguntas vinculadas con varios sectores de la red respectiva. Algunas preguntas son tan generales, que se aproximan al libre recuerdo ("¿Qué puede usted recordar que explique esto?"), mientras que otras son mucho más específicas para ciertas combinaciones de conceptos y sus relaciones.

La información de la respuesta del estudiante puede ser codificada en confrontación con una serie de redes alternativas que representen el dominio del conocimiento. Pueden seleccionarse preguntas subsecuentes con base en las áreas del dominio del conocimiento no incluidas en la respuesta del estudiante, para probar nuevas regiones del dominio en el que la respuesta del estudiante es ambigua. Mediante este enfoque de interacción y en relación con una serie de estándares optativos, puede hacerse un registro más elaborado y completo

de la estructura del conocimiento del alumno, que se traduce en un registro más amplio de los esquemas del estudiante.

Por ejemplo, la Figura 10 ofrece una red representativa del esquema de onda-partícula, en física introductoria, a nivel universitario. Si los estudiantes tuvieran la concepción de las ondas y partículas en este sentido, podrían comprender que cualquier entidad física, ya sea electrones o rayos X, puede (bajo ciertas condiciones), mostrar características de comportamiento sólo de ondas (por ejemplo, el flujo continuo de energía, patrones de interferencia, longitud de onda y frecuencia identificables y la interacción con partículas en la forma predicha por la electrodinámica clásica); podrían comprender también que bajo ciertas condiciones cualquier entidad física puede mostrar características de comportamiento sólo de partículas (por ejemplo, el flujo discontinuo y la interacción con partículas conforme a la mecánica clásica, que requiere conservación de momento y energía); comprenderían también que precisamente porque los rayos X son parte del espectro electromagnético (E-M), y por tanto tiene una longitud de onda y una frecuencia, pueden mostrar sin embargo comportamiento semejante a la partícula. De igual modo, precisamente porque los electrones tienen masa, pueden mostrar también comportamiento de onda.

Los cuadros 3 y 4 listan los triples que contiene la Figura 10 y algunas cuestiones útiles para explorar las diversas zonas del esquema onda-partícula.



Triplas	Preguntas que corresponden
1. entidad física — presenta —> comportamiento semejante a la onda	2, 5, 7, 12
2. entidad física — presenta —> comportamiento de partícula	1, 6, 8, 11
3. 1 y 2 anteriores	5-8, 11, 12
4. radiación E-M — Subclase —> entidad física	5, 6, 11
5. rayos X — Subclase —> entidad física	3-6, 11
6. electrones — Subclase —> entidad física	7, 8, 12
7. comportamiento de partícula — característica —> flujo discontinuo	1, 8, 10, 11
8. comportamiento de onda — característica —> flujo continuo	2, 9
9. comportamiento de onda — propiedad —> longitud de onda	2, 5, 7, 9, 12
10. comportamiento de onda — propiedad —> frecuencia	
11. comportamiento de onda — subclase —> interferencia	2, 5, 7, 9, 12
12. comportamiento de onda — subclase —> dispersión onda-partícula	2, 7, 9, 12
13. comportamiento de partícula — subclase —> dispersión partícula-partícula	1, 6, 8, 10, 11
14. dispersión onda-partícula — condiciones —> electrodinámica clásica	2, 7, 9, 12, 13-18
15. dispersión partícula-partícula — condiciones —> mecánica clásica	1, 8, 10, 11, 13-18
16. mecánica clásica — parte-entero —> conservación de energía	1, 8, 10, 11, 13-18
17. mecánica clásica — parte-entero —> conservación del momento	1, 8, 10, 11, 13-18

◀ Fig. 10. Red representativa del esquema onda-partícula. El Cuadro 1 y los Cuadros 3 y 4 suministran las claves de las relaciones rotuladas.

Preguntas	Triple(s) correspondiente
1. ¿Qué puede decirme acerca de las partículas?	2, 7, 13, 15, 16, 17
2. ¿Qué puede decirme acerca de las ondas?	1, 8-12, 14
3. ¿Puede pensar en otras cosas relacionadas estrechamente con los rayos X?	5
4. ¿Qué cosas se semejan a los rayos X y a la denominada luz visible?	5
5. ¿Están relacionados de cierta manera los rayos X con las ondas?	1, 3-5, 9-11
6. ¿Están relacionados de algún modo los rayos X con las partículas?	2-5, 13, 15
7. ¿Están relacionados de algún modo los electrones con las ondas?	1, 3, 6, 9-12, 14
8. ¿Están relacionados de algún modo los electrones con las partículas?	2, 3, 6, 7, 13, 15-17
9. ¿En qué consiste identificar las características de las ondas?	8-12, 14
10. ¿En qué consiste identificar las características de las partículas?	7, 13, 15-17
11. ¿Puede pensar en alguna evidencia que sugiera que los rayos X no son ondas?	2-5, 7, 13, 15-17
12. ¿Puede pensar en alguna evidencia que sugiera que los electrones no son partículas?	1, 3, 6, 9-12, 14
13. ¿Qué cree usted que ocurre cuando los rayos X chocan con el blanco?	14-17
14. ¿Puede describir lo que ocurre cuando los rayos X interactúan con átomos o electrones?	14-17
15. ¿Qué determina lo que sucede cuando los rayos X interactúan con átomos o electrones?	14-17
16. ¿Imagina usted qué ocurre cuando los electrones chocan con un blanco?	14-17
17. ¿Puede describir lo que ocurre cuando los electrones interactúan con partículas atómicas?	14-17
18. ¿Qué determina lo que ocurre cuando los electrones interactúan con partículas atómicas?	14-17

↑ Cuadro 4. Preguntas para explorar el esquema onda-partícula

Para conveniencia del lector, el Cuadro 3 da las preguntas claves para las triples y el Cuadro 4, las triples claves para las preguntas.

Si estamos más interesados en cómo emplean los estudiantes lo que saben, que en los conceptos que han aprendido (por ejemplo, el proceso de control y no la base de datos), podemos tratar de recoger directamente la infor-

mación acerca del rumbo que toman para la solución de problemas. Un enfoque para obtener esta clase de datos es hacer que los estudiantes piensen en voz alta cuando resuelven problemas. Pueden ser analizados los "protocolos del pensamiento en voz alta" (Newell y Simon, 1972) de los estudiantes e identificar así las estrategias empleadas en la solución de problemas. Tales estudios se han realizado ya en química orgánica (Atkin, 1977), en ajedrez, lógica y criptaritmética (Newell y Simon, 1972). Estos estudios han suministrado tanto una idea sustancial de las clases de estrategias que emplea la gente, así como técnicas sofisticadas para representar los pasos que siguen quienes resuelven problemas.

Otra área conclusiva en la evaluación y en la investigación la constituyen las relaciones entre lo que aprenden los niños en las escuelas y cómo lo emplean en las situaciones de la "vida real"; el llamado "empleo vivo de la enseñanza" (Broudy, 1972). The National Assessment of Educational Progress ha comunicado recientemente que a pesar de que los niños están aprendiendo más información en muchas materias, sus puntajes en reactivos de aplicación han decrecido dramáticamente. Para descubrir por qué se ha presentado esta declinación en la habilidad para aplicar el conocimiento, los investigadores tienen necesidad de contar primero con un modelo razonable acerca de cómo la información aprendida en la escuela se aplica a la solución de problemas de la "vida real". Si se clasifica esta área de investigación como una subclase de la investigación sobre cómo la información existente en una base de datos

◀ Cuadro 3. Triples tomados del esquema onda-partícula

individual se relaciona con la habilidad del propio individuo para resolver problemas y tomar decisiones, entonces se pueden aplicar en esta investigación muchas de las técnicas, conceptos y principios del cognoscitismo, elaborados en trabajos recientes. Bastaría solamente el interés que pongan en esta área las personas que poseen los antecedentes necesarios.

### TERCERA PARTE

#### Conclusiones

Tal como los científicos cognoscitivistas se han apresurado a expresarlo, las recomendaciones reales para la educación, basadas en la investigación que efectúan los cognoscitivistas son pocas, y, cuando las ha habido, parecen vagas y más bien hijas del sentido común. Por ejemplo, Norman, Gentner y Stevens (1976) concluyen su exposición con recomendaciones como las siguientes:

“Introduzca el marco de referencia general para el material que se aprenderá. Construya a partir del conocimiento general que existe previamente. El estudiante debe conocer cómo evaluar y modificar sus esquemas” (p. 195).

Estas dos primeras recomendaciones no son ciertamente revolucionarias. Se asemejan de hecho a las que hizo Ausubel hace quince años (Ausubel, 1963) y que dicen así:

“La estrategia que se sustenta en este tratado... implica el empleo de materiales introductorios (por ejemplo,

los organizadores) con anterioridad a la presentación de la nueva tarea de aprendizaje. Estos organizadores avanzados consisten en un material introductorio a un nivel más elevado de abstracción, generalidad e inclusividad, que la propia tarea de aprendizaje. La función del organizador consiste en proveer el andamiaje de ideas para la incorporación y retención permanentes del material más detallado y diferenciado que se persigue en el episodio de aprendizaje, así como aumentar la discriminatividad entre los conceptos últimos y relacionados que intervienen en la estructura cognoscitiva” (p. 29).

“Desde el punto de vista adoptado en este libro, la estructura de un conocimiento existente del estudiante se contempla como el factor crucial que influye en el nuevo aprendizaje, en la retención y en la solución de problemas. Solamente en la medida que sea posible aumentar la potencia organizativa de esta estructura, se puede incrementar también la retención funcional del nuevo conocimiento de la materia, tanto como un fin en sí misma, cuanto para propósitos de solución de problemas... El material potencialmente significativo siempre es aprendido en relación con un antecedente ya formado de conceptos pertinentes, de principios y de información que suministra un marco de referencia para su captación. Sólo por esta vía es como se han elaborado los productos cognoscitivos interactivos y como emergen y son retenidos los nuevos significados” (p. 76).

¿Cuál es, entonces, la contribución que ha dado hasta ahora la ciencia cognoscitiva? Farnham-Diggory (1976)

resume bien la situación: “En suma, podemos decir que nuestra actual capacidad teórica y tecnológica para **representar el cambio de estados conceptuales es un gran avance...**” (pp. 229-230). (Subrayado por el autor).

Estos avances en la representación del conocimiento, particularmente en el desarrollo de redes semánticas, permiten representaciones análogas, detalladas y coherentes de la estructura del conocimiento contenido en las disciplinas, la estructura cognoscitiva de especialistas, la estructura del contenido de materiales y actividades, y la estructura cognoscitiva de los estudiantes, antes, durante y después de la enseñanza. Cuando se han afinado estas técnicas para las áreas respectivas de aplicación, los investigadores han podido establecer comparaciones entre tales aspectos del conocimiento. Dichas comparaciones pueden servir como base para plantear interrogantes fundamentales a fin de investigar el contenido:

¿Cuál es el efecto de estructuras de contenido diferentes en la estructura cognoscitiva? ¿Cuál es el papel de lo que sabe ya el estudiante en aquello que aprende de la enseñanza? ¿Cómo desarrollan y modifican sus esquemas los estudiantes, y cómo influye la enseñanza en estos procesos? ¿Cuál es la relación entre la estructura del conocimiento en las disciplinas y la estructura de contenido de materiales y actividades? ¿Cuál es la relación entre conocimiento y ejecución, entre lo que una persona sabe y lo que puede hacer? Estas preguntas son sólo una muestra de las áreas significativas de investigación factibles por los desarrollos tecno-

lógicos en la representación del conocimiento.

Una vez afinadas, estas técnicas capacitarán a los que desarrollan el currículo para captar mejor sus problemas: ¿Cómo especificar objetivos con un alto grado de detalle, sin que dejen de representar la estructura del conocimiento? ¿Cómo dirigir evaluaciones formativas y pruebas diagnósticas que señalen con precisión las equivocaciones, la falsa información, las razones que determinan la falta de capacidad para emplear el conocimiento? ¿Cómo integrar y ordenar los temas? ¿Cómo analizar los materiales de enseñanza, para que esas decisiones de adopción o modificación descansen más firmemente en una consideración de las tareas cognitivas que ofrezcan a los estudiantes dichos materiales?

Según se tengan presentes los problemas del currículo, para incluir aquellos relativos al contenido de la enseñanza escolar en la organización del mismo, habrá mayor aptitud para representar ese contenido y para especificar cómo se emplea el conocimiento en la ejecución de tareas de gran repercusión tecnológica para quienes desarrollan el currículo y para los evaluadores e investigadores. Hasta nuestros días, todo este promisorio potencial sólo parcialmente ha sido hecho realidad.

#### REFERENCIAS

- ANDERSON, J.R. *Language, memory and thought*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum Associates, 1976.
- ANDERSON, J.R. and Bower, G.H. *Human associative memory*. Washington: Winston and Sons, 1973.



- ANDERSON, R.C. The notion of schemata and the educational enterprise. In R.C. Anderson, R.J. Spiro and W.E. Montague (Eds.), *Schooling and the acquisition of knowledge*. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates, 1977.
- ANDERSON, R.C., Reynolds, R.E., Schallet, D.L. and Goetz, E.T. Frameworks for comprehending discourse. *American Educational Research Journal*, 14, No. 4 (Fall) 1977, 367-382.
- ANDERSON, R.C., Spiro, R.J. and Montague, W.E. (Eds.). *Schooling and the acquisition of knowledge*. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates, 1977.
- ATKIN, J.A. *An information processing model of learning and problem solving*. Unpublished PhD dissertation, Cornell University, 1977.
- AUSUBEL, D.P. *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- AUSUBEL, D.P. *The psychology of meaningful verbal learning*. New York: Grune and Stratton, 1963.
- BRANSFORD, J.D. and Johnson, M.K. Considerations of some problems of comprehension. In W.G. Chase (Ed.), *Visual information processing*. New York: Academic Press, 1973.
- BROUDY, H.S. The life uses of schooling as a field for research. In L.G. Thomas (Ed.), *Philosophical redirection of educational research*. The seventy-first yearbook of the National Society for the Study of Education, Part I. Chicago: University of Chicago Press, 1972.
- BRUNER, J.S. *The process of education*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1960.
- COLLINS, A.M. and Quillian, M.R. Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 8, 1969, 240-247.
- EARTH SCIENCE CURRICULUM PROJECT. *Investigating the earth*. Boston: Houghton Mifflin, 1967.
- EISNER, E.W. Instructional and expressive objectives. In W.J. Popham, E.W. Eisner, H.J. Sullivan and L.L. Tyler (Eds.), *Instructional objectives*. AERA Monographs on curriculum evaluation, No. 3. Chicago: Rand McNally, 1969.
- FARNHAM-DIGGORY, S. Toward a theory of instructional growth. In D. Klahr (Ed.), *Cognition and instruction*. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates, 1976.
- FARNHAM-DIGGORY, S. *Cognitive processes in education*. New York: Harper and Row, 1972.
- FILLMORE, C.J. The case for case. In E. Bach and R. Harms (Eds.), *Universals in linguistic theory*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- FRASE, L.T. Advances in research and theory in instructional technology. In F.N. Kerlinger (Ed.), *Review of research in education*, 3. Itasca, Illinois: F.E. Peacock, 1975.
- FREDERIKSEN, Carl. H. Representing logical and semantic structure of knowledge acquired from discourse.

- Cognitive Psychology**, 7, 1975, 371-458.
- GAGNE, R.M. and BRIGGS, L.J. **Principles of instructional design**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1974.
- GOWIN, D.B. **The domain of education**. Mimeographed manuscript, 1978.
- GOWIN, D.B. Teachers need of knowledge. **Cornell Chronicle**, April 21, 1977.
- GOWIN, D.B. The structure of knowledge. **Educational Theory**, 20, No. 4 (Fall) 1970, 319-328.
- GREENO, J.G. Cognitive objectives of instruction: Theory of knowledge for problem solving and answering questions. In D. Klahr (Ed.), **Cognition and instruction**. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates, 1976.
- HAYES, J.R. It's the thought that counts: New approaches to educational theory. In D. Klahr (Ed.), **Cognition and instruction**. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates, 1976.
- HUEBNER, D. The moribund curriculum field: Its wake and our work. **Curriculum Inquiry**, 6, 2, 1976, 153-166.
- KINTSCH, W. **The representation of meaning in memory**. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates, 1974.
- KLAHR, D. (ed.). **Cognition and instruction**. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates, 1976.
- LINDSAY, P.H. and Norman, D.A. **Human information processing** (2nd ed.). New York: Academic Press, 1977.
- LURIA, A.R. **The mind of a mnemonist**. Translated by L. Solotaroff. New York: Basic Books, 1968.
- MACDONALD-ROSS, M. Behavioral objectives: A critical review. In M. Golby, J. Greenwald, and R. West (Eds.), **Curriculum design**. New York: John Wiley, 1975.
- MEYER, B.J.F. **The organization of prose and its effects on memory**. Ph.D. dissertation, Cornell University, 1974. Also, Amsterdam: North-Holland Press, 1974.
- MILLER, G.A. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. **Psychological Review**, 63, 1956, 81-97.
- MINSKY, M. A framework for representing knowledge. In P.H. Winston (Ed.), **The psychology of computer vision**. New York: McGraw-Hill, 1975.
- NEISSER, U. **Cognition and reality**. San Francisco: W.H. Freeman, 1976.
- NEWELL, A. and SIMON, H.A. **Human problem solving**. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1972.
- NORMAN, D.A. and BOBROW, D.G. On the role of active memory processes in perception and cognition. In C.N. Cofer (Ed.), **The structure of human memory**. San Francisco: W.H. Freeman, 1976.
- NORMAN, D.A., GENTNER, D.R. and STEVENS, A.L. Comments on learning: Schemata and memory representation. In D. Klahr (Ed.), **Cognition and instruction**. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates, 1976.
- NORMAN, D.A. and RUMELHART, D.E. **Explorations in cognition**. San Francisco: W.H. Freeman, 1975.
- NOVAK, J.D. **A theory of education**. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press, 1977.
- PAIVIO, A. Perceptual comparisons through the mind's eye. **Memory and Cognition**, 3, 1975, 635-647.
- PAIVIO, A. **Imagery and verbal processes**. New York: Holt, Rinehart, and Winston, 1971.
- PARKER, J.C. and RUBIN, L.J. **Process as content: Curriculum design and the application of knowledge**. Chicago: Rand McNally, 1966.
- PINES, A. Leon. **Scientific concept learning in children: The effect of prior knowledge on resulting cognitive structure subsequent to A-T instruction**. Unpublished Ph.D dissertation, Cornell University, 1977.
- PINES, A. Leon, Novak, J.D., Posner, G.J. and Van KIRK, J. **The clinical interview: A method for evaluating cognitive structure**. Curriculum Series Research Report, No. 6. Ithaca, N.Y.: Department of Education, Cornell University, 1978.
- POPHAM, W.J. Probing the validity of arguments against behavioral objectives. In W.J. Popham, E.W. Eisner, H.J. Sullivan and L.L. Tyler (Eds.), **Instructional objectives**. AERA Monographs on curriculum evaluation, No. 3. Chicago: Rand McNally, 1969.
- POSNER, G.J. and the Cognitive Structure Group. **The assessment of cognitive structure**. Curriculum Series Research Report No. 5, Ithaca, N.Y.: Department of Educational, Cornell University, November, 1977.
- POSNER, G.J. and RUDNITSKY, A.N. **Course design: A guide to curriculum development for teachers**. New York: Longman, 1978.
- POSNER, G.J. and STRIKE, K.A. A categorization scheme for principles of sequencing content. **Review of Educational Research**, Vol. 46, No. 4 (Fall) 1976, 665-690.
- PYLYSHYN, Z.W. What the mind's eye tells the brain: A critique of mental imagery. **Psychological Bulletin**, 80, 1973, 1-24.
- QUILLIAN, M.R. The teachable language comprehender: A simulation program and theory of language. **Communications of the Association for Computing Machinery**, 12, 1969, 459-476.
- RIPS, L.J., SHOBEN, E.J. and SMITH, E.E. Semantic distance and the verification of semantic relations. **Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior**, 12, 1973, 1-20.
- ROSCH, E.H. Natural categories. **Cognitive Psychology**, 4, 1973, 328-350.
- ROWELL, R.M. **Concept mapping: Evaluation of children's science concepts following audio-tutorial instruction**. Unpublished Ph.D dissertation, Cornell University, 1978.
- RUMELHART, D.E. **An introduction to human information processing**. New York: Wiley, 1977.
- RUMELHART, D.E. and ORTONY, A. The representation of knowledge in memory. In R.C. Anderson, R.J. Spiro and W.E. Montague (Eds.), **Schooling and the acquisition of knowledge**. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates, 1977.
- RUMELHART, D.E. The structure of stories. In D.G. Bobrow and A. Collins (Eds.), **Representation and understanding: Studies in cognitive science**. New York: Academic Press, 1975.
- SCHANK, R.C. The structure of episodes in memory. In D.G. Bobrow and A. C. Collins (Eds.), **Representation and understanding: Studies in cognitive science**. New York: Academic Press, 1975.
- SCRAGG, G.W. Answering questions about processes. In D.A. Norman and D.E. Rumelhart, **Explorations in cognition**. San Francisco: W.H. Freeman, 1975.
- SENESH, L. **Our working world: New paths in social science curriculum design**. Chicago: Science Research Associates, 1973.
- STEWART, J.H. **Cognitive structure in college biology students: An investigation of convergent validity of assessment techniques**. Unpublished Ph.D dissertation, Cornell University, 1978.
- STEWART, J.H., VAN KIRK, J., NOVAK, J.D. and ROWELL, R.M. Concept maps: A tool for use in biology teaching. **American Biology Teacher** (in press).
- STRIKE, K.A. Cognitive structure: Nature and Measurement. In G.J. Posner and the Cognitive Structure Group, **The assessment of cognitive structure**. Curriculum Series Research Report, No. 5. Ithaca, N.Y.: Department of Education, Cornell University, November, 1977.
- STRIKE, K.A. and POSNER, G.J. Epistemological perspectives on conceptions of curriculum organization and learning. **Review of Research in Education**, Vol. 4, edited by L.S. Shulman, Itasca, Illinois: F.E. Peacock, 1976.
- STRIKE, K.A. and POSNER, G.J. Statements of educational objectives: Form and Function. A paper presented to the annual meeting of the American Educational Research Association, Chicago, April, 1974.
- TULVING, E. Episodic and semantic memory. In E. Tulving and W. Donaldson (Eds.), **Organization of memory**. New York: Academic Press, 1972.
- TULVING, E. The effects of presentation and recall of material in free recall learning. **Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior**, 6, 1967, 175-184.
- WALKER, D.F. The structure of goals, knowledge, and curricula. A paper prepared for the NIE Invitational Conference on School Organization and its Effects, San Diego, January, 1978.
- WEIL, M. and JOYCE, B.R. **Information processing models of teaching**. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1978.
- WEINSTEIN, G. and FANTINI, M.D. (Eds.), **Toward humanistic education: A curriculum of affect**. New York: Praeger, 1970.