

LA METÁFORA DEL CEREBRO COMO COMPUTADOR EN LA CIENCIA COGNITIVA

Carlos E. VASCO U.

RESUMEN

En primer lugar se hace una descripción inicial y una breve historia de la ciencia cognitiva. Luego se describen algunos aportes de las disciplinas que participan en la conformación de esta nueva ciencia. En particular, la informática contribuye, entre otras cosas, con la metáfora del cerebro como computador. Se analizan los conceptos y modelos que esta metáfora aporta para avanzar en la teoría del conocimiento, la psicología y la pedagogía, y se describen algunas investigaciones que han aprovechado esos conceptos y modelos. Finalmente, se anotan algunas limitaciones de dicha metáfora.

¿QUÉ ES LA CIENCIA COGNITIVA?

Desde distintos ángulos se ha estudiado el conocimiento humano durante milenios. Tal vez los diálogos de Platón sean los primeros esfuerzos sistemáticos por analizar esa maravillosa función de nuestro cerebro que se enuncia tan sencillamente: conocer la realidad.

Pero después del sencillo enunciado, las preguntas saltan por todas partes: ¿Qué es conocer? ¿Qué es la realidad? ¿Cómo sabemos que sí conocemos la realidad y no somos más bien víctimas de una ilusión?

La filosofía, y en particular la epistemología, ha continuado debatiendo estos temas, que desembocan en la conformación de la actual ciencia cognitiva. Podríamos describirla como la disciplina que pretende acercarse a esas mismas preguntas sobre el conocimiento humano elaboradas por la filosofía y la epistemología, con todas las herramientas que la psicología, la antropología, la lingüística, la neurología y la informática han ido acumulando durante el último siglo.

Describamos brevemente estas cinco corrientes científicas que están aportando los materiales para la nueva síntesis cognitiva alrededor de las preguntas filosóficas sobre el conocimiento.

Tal vez la corriente principal que desemboca en la actual ciencia cognitiva es la de la psicología. Al empezar a hacerse evidentes las limitaciones del programa del Análisis Experimental de la Conducta y de la tecnología educativa propuesta por esa escuela, los psicólogos empezaron a reevaluar las líneas de investigación que habían sido descalificadas como "poco científicas" por los seguidores de Watson y Skinner. La psicología de la

"Gestalt" de Wertheimer, Köhler y Koffka en Alemania y Austria; la psicología genética de Jean Piaget en Suiza y Francia; la escuela de Vygotsky en la Unión Soviética, y las propuestas de Jerome Bruner en los Estados Unidos, volvieron a cobrar actualidad entre los psicólogos que trataban de acercarse al problema del conocimiento humano.

Tanto en la filosofía como en la psicología empezó a hacerse evidente la necesidad de analizar con más cuidado el lenguaje; la filosofía analítica, la socio-lingüística y la psico-lingüística empezaron a desarrollarse aceleradamente, a medida que la lingüística se enriquecía con las contribuciones de Wittgenstein, de Saussure, Bloomfield y Noham Chomsky. Hoy es pues la lingüística una herramienta indispensable en la ciencia cognitiva.

Los fracasos de los intentos de extender los resultados de las investigaciones psicológicas hechas en Suiza, Francia o los Estados Unidos a otras culturas, empezaron a cuestionar las mediciones psicométricas de los cocientes de inteligencia y de las etapas de desarrollo del pensamiento formal. La antropología entró de lleno a la palestra del debate cognitivo, contribuyendo con el análisis de los modos de pensar, los tipos de saberes, los procesos educativos y las especificidades de la comunicación de las distintas culturas, y develando las cargas y sesgos culturales de las pruebas de inteligencia que se creían "objetivas".

La neurología se desarrolló también rápidamente, precisando el alcance y las limitaciones de las teorías de las localizaciones cerebrales, analizando el comportamiento de los ganglios neurales de moluscos e insectos, y de los cerebros de ranas, monos y gatos. Alexander Luria en la Unión Soviética correlacionó cuidadosamente las lesiones cerebrales con los retrocesos en el desempeño aritmético de sus pacientes, introduciendo así una especie de microscopio que captaba en reversa las etapas de la construcción de conocimientos matemáticos. Sin estas y otras muchas contribuciones de la neurología, sería impensable la ciencia cognitiva actual.

Paralelamente se estaban desarrollando en los Estados Unidos, impulsadas sobre todo por científicos como Norbert Wiener y John von Neumann, recientemente emigrados de Europa, la nueva disciplina que posteriormente se llamó "cibernética" y la teoría de la información, que iniciaron Shannon y Weaver en la década de los cuarenta; disciplinas que entraron a formar parte de lo que hoy es la informática. Estas disciplinas empezaron a intentar explicaciones del funcionamiento del cerebro desde los modelos sugeridos por los progresos en la construcción de computadores, en ese tiempo llamados significativamente "cerebros electrónicos".

Se conforma así el llamado "hexágono de la ciencia cognitiva" con los aportes de estas seis disciplinas: la filosofía, la psicología, la antropología, la lingüística, la informática y la neurología.

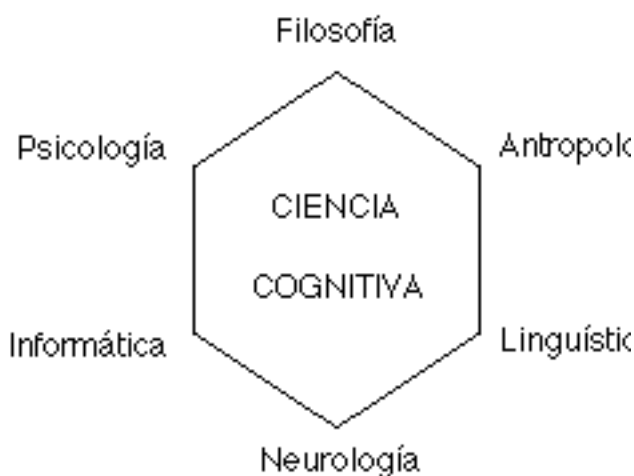


Figura 1. Hexágono de la ciencia cogniti-va

LA METÁFORA DEL COMPUTADOR

El aporte inicial específico de la informática a la ciencia cognitiva fue aquello que Jerome Bruner llamó "una de las más avasalladoras metáforas" de la década de los cincuenta: la de la computación electrónica como modelo del procesamiento de la información en el cerebro [1].

George Miller, el autor del "mágico número siete" como límite superior de los receptáculos de memoria de trabajo en el cerebro humano, señaló la importancia de la simulación por computador de los procesos cognitivos humanos como una de las piezas claves de la ciencia cognitiva [11].

Muy significativamente, el libro póstumo de John von Neumann se llamó "El Computador y el Cerebro" [11]. Pero él mismo había enunciado esa metáfora desde el simposio de la Fundación Hixon sobre mecanismos cerebrales en el comportamiento, celebrado en el Instituto Tecnológico de California "Caltech" en septiembre de 1948; simposio que se considera como el precursor del desarrollo de la ciencia cognitiva en la postguerra.

Podríamos decir pues que la metáfora del cerebro como computador lleva casi cincuenta años de existencia, desde el tiempo en que los primeros computadores electrónicos con centenares de tubos de vacío hacían pesadamente los cálculos balísticos para el ejército norteamericano hasta el día de hoy en que un "chip" de tercera generación, con un volumen de apenas un centímetro cúbico, hace el mismo trabajo que uno de esos monstruos antediluvianos de la primera generación, con sus muchos metros cúbicos de volumen, y además lo hace mil veces más rápido.

Estudiemos el desarrollo de esta metáfora del cerebro como computador, analicemos algunas investigaciones cognitivas que la utilizan y veamos las limitaciones de esa misma metáfora.

EL DESARROLLO DE LA METÁFORA

Después de un período que podríamos llamar "prehistórico" o de gestación de la ciencia cognitiva, que duró ocho años contados desde el mencionado simposio de la Fundación Hixon en "Caltech" en 1948, se considera como fecha de nacimiento oficial de la ciencia cognitiva el simposio sobre teoría de la información celebrado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts en 1956, y en particular el segundo día de ese simposio, el 11 de septiembre de 1956 [^{iv}].

En la década de los sesenta fue tal vez el Centro para los Estudios Cognitivos de la Universidad de Harvard, organizado por Jerome Bruner y George Miller, el que sirvió de aglutinador de esta disciplina que apenas empezaba a perfilarse [^v].

El libro de Ulrich Neisser: "Psicología Cognitiva", publicado en 1967, empezó a darle renombre a la nueva orientación entre los psicólogos [^{vi}].

Pero, fue en el Instituto Tecnológico de Massachusetts en donde Newell y Simon insistieron más en la metáfora del computador hasta el punto de que pasó de mera metáfora a modelo único del cerebro. Tanto el computador como el cerebro deberían ser consideradas como máquinas procesadoras de símbolos, una artificial y otra natural [^{vii}]. Más bien se podría decir que se invirtieron los papeles en la metáfora inicial: ya no se llamaba "cerebro electrónico" al computador sino que se llamaba "computador bioeléctrico" al cerebro.

La expresión programática bandera, durante la década de los setenta, fue pues "la inteligencia artificial", y el énfasis se hizo más bien en la elaboración de programas que pudieran producir comportamientos que los humanos consideramos como inteligentes. Jugar ajedrez, resolver ecuaciones de álgebra, demostrar teoremas de lógica, traducir de lenguas extranjeras, analizar fotografías, y hasta contestar con habilidad en un diálogo al estilo psico-analítico, eran comportamientos aceptados como inteligentes, pero que parecían estar al alcance de los computadores.

El libro clásico de este período de la ciencia cognitiva sigue siendo el de Margaret Boden, "La inteligencia artificial y el hombre natural", publicado en 1977 [^{viii}].

Los progresos iniciales en la simulación de comportamientos inteligentes llegaron pronto a un estancamiento relativo. Los buenos programas de ajedrez derrotan fácilmente a todos los aficionados pero no pueden pasar más allá del nivel de "expertos", y pierden sistemáticamente ante los grandes maestros. Los teoremas lógicos demostrados mecánicamente son bastante triviales y los ejercicios de álgebra, puramente rutinarios, por más que unos y otros superen las capacidades de la mayoría de los jóvenes bachilleres colombianos.

Las traducciones automáticas son apenas remedos de los textos originales, que requieren de todas maneras de un traductor experto que los haga legibles. Se hizo famosa la traducción de la frase evangélica: "El espíritu está pronto, pero la carne es flaca", del inglés al ruso, porque al volverla a traducir del ruso al inglés, resultó algo así como: "El vodka está listo, pero el bisté está muy delgado".

Los programas de reconocimiento de imágenes no llegaron muy lejos, hasta el punto de poder decir que no hay un programa de análisis óptico que reconozca un gato echado en un sillón y lo distinga de un cojín, cosa que cualquier niño de dos años puede hacer.

Estos fracasos en el desarrollo de la metáfora del cerebro como computador llevaron, como suele suceder en la historia de la ciencia, a dos posiciones teóricamente diferentes, por más que el trabajo investigativo continúe siendo superficialmente indistinguible.

Una primera posición mantiene la tesis rígida de identificar el cerebro como un tipo de computador y responde a las objeciones con el argumento innegable de que el cerebro es un computador mucho más complejo que los que se pueden construir actualmente. Pero, quienes mantienen esa posición están seguros de que pronto llegará el día en que los computadores ultrarrápidos de procesamiento paralelo masivo de información puedan hacer todo lo que el cerebro puede hacer y mucho más. En esta línea se inscriben muchos conexionistas y expertos en redes neurales (o "redes neuronales"), quienes insisten en mantener la metáfora como teoría [ix].

La otra posición debilita la identificación del computador como único modelo apropiado del cerebro humano y mantiene sólo el aspecto heurístico de la metáfora. En muchos aspectos se acepta que el modelo del computador hará avanzar el conocimiento del cerebro humano. Al mismo tiempo se dice que, como toda metáfora, ésta también puede ser abusiva y aun convertirse en obstáculo epistemológico para el progreso en el conocimiento del conocimiento humano.

LAS INVESTIGACIONES EN CIENCIA COGNITIVA

Los métodos de investigación en esta naciente disciplina combinan las entrevistas en profundidad con expertos y novicios, con la observación no participante para determinar los tipos de estrategias utilizadas por ellos. La reflexión teórica enfatiza la construcción de modelos de los procesos mentales seguidos por novicios y expertos, de tal manera que esos modelos sean implementables en un computador.

La investigación se considera exitosa si los programas implementados simulan los comportamientos que culturalmente se consideran como propios de los expertos, y se considera más exitosa aún si las versiones iniciales más burdas de esos programas cometen errores similares a los que cometen los novicios.

No se puede garantizar que el cerebro del experto actúe como lo hace el computador; pero el progreso en la investigación cognitiva se debe ante todo al esfuerzo mismo de conceptualizar y operacionalizar las estrategias en forma suficientemente precisa para simularlas en un computador. Al tratar de hacerlas programables, se descubren semejanzas y diferencias que permanecían ocultas a la mirada ingenua, y se dan nuevos tipos de explicaciones a conductas observables que antes parecían inexplicables.

Es importante observar que Charles Brainerd, Robert Siegler y Robert Sternberg en los Estados Unidos, y Juan Pascual-Leone y Robbie Case en el Canadá, quienes se cuentan

entre los iniciadores de la investigación cognitiva en el desarrollo infantil, comienzan su trabajo como un intento de reformular las teorías piagetianas sin acudir a las estructuras matemáticas de agrupamiento, grupo y retículo de que hablaba Piaget, y sin postular rupturas radicales entre las etapas pre-operatoria, operatoria concreta y operatoria formal del pensamiento infantil y adolescente [^x, ^{xi}, ^{xii}, ^{xiii}, ^{xiv}].

Las reformulaciones de estos autores intentan adscribir las diferencias en el desempeño de los niños a la capacidad de memoria de trabajo, a las estrategias de almacenamiento y de recuperación de información, y a la reprogramación de estrategias más eficaces, factores muchos de ellos inconcientes, pero simulables en computador.

Para la modelación de estas estrategias se utilizan frecuentemente diagramas de flujo con componentes de decisión simbolizados con rombos, componentes de ejecución simbolizados con rectángulos, y ciclos de iteración simbolizados con flechas de retorno del flujo.

No importa tanto la solución específica que se proponga para un problema de desempeño del cerebro, como el esfuerzo mismo de conceptualizar los mecanismos concientes e inconcientes de procesamiento de la información que son necesarios para simular ese desempeño.

Podría parecer trivial o inútil este tipo de modelación, si no hubiera servido a Groen, Parkman y Resnick para hacer análisis cronométricos muy finos de los tiempos de latencia entre el estímulo y la respuesta de los niños a quienes se les pidió sumar dos números de una cifra, para comparar esos tiempos con las simulaciones en computador [^{xv}, ^{xvi}]. Los programas alternativos de sumar a través de la búsqueda en las tablas de la adición, producían tiempos de latencia simulados más cortos que los observados en los niños.

En cambio, un flujograma que consistía en anteponer un filtro que comparara primero los dos números dados, y tomara la decisión de utilizar la duplicación más bien que la suma si ambos números eran iguales, o el conteo hacia arriba a partir del primer número si éste era mayor que el segundo, o la inversión de los sumandos si el segundo era mayor que el primero, producía tiempos de latencia simulados que concordaban con los observados.

No quiere decir esto que ya sepamos cómo procesan los niños la información para sumar dos números de una cifra; pero sí quiere decir que hasta ahora no hay mejor modelo de ese proceso que el que se desarrolló a través de este tipo de interacción creativa entre las propuestas de flujogramas posibles y la cronometría de los tiempos de latencia.

El impacto pedagógico que puede tener este modelo de la adición es evidente. Debería cambiar la evaluación negativa que hacen los maestros de la suma por conteo; se podría construir por conteo la "tabla de los dobles" y hacer notar a los niños el ahorro de tiempo y esfuerzo que les representa sabérsela de memoria; se podrían completar las tablas de sumar calculándolas por conteo hacia arriba variando el primer número en vez del segundo; se podría relacionar la simetría de las tablas con la conmutatividad de la adición (sin mencionar por supuesto palabras como "simetría" o "conmutatividad"), y apreciar la ventaja de comparar primero los dos números para empezar el conteo por el mayor de los

dos, o para recuperar a través con un cambio en el orden de los sumandos un resultado que se había olvidado.

Otro tipo de investigaciones cognitivas en esta línea tratan de explicar el porqué de los errores persistentes que se encuentran en todos los estudiantes del mundo en los algoritmos para la adición de fracciones, o en el álgebra usual de octavo y noveno grado.

Por ejemplo, los alumnos suelen tratar de sumar dos fracciones dadas, como a/b y c/d , sumando primero los numeradores y luego los denominadores:

$$(a/b) + (c/d) = (a+c)/(b+d) (?).$$

También los estudiantes tratan de extraer la raíz cuadrada de un binomio extrayendo separadamente las raíces cuadradas de los términos:

$$\sqrt{a+b} = \sqrt{a} + \sqrt{b} (?).$$

Robert Davis utiliza un metalenguaje de descriptores de procedimientos para analizar el trabajo algebraico a través de sucesiones o secuencias de acciones de computación moderadas por pistas visuales. Estas "secuencias visualmente moderadas" permiten describir los tipos probables de computación mental que llevan a los errores usuales. Hablar de rutinas y subrutinas, o procedimientos y subprocedimientos almacenados en la memoria a largo plazo y traídos o copiados en la memoria operativa en el momento de necesitarlos para el cómputo, nos permite identificar el primer tipo de error como la recuperación de la rutina de multiplicación de fracciones y su utilización para la adición, y el segundo tipo de error como la recuperación de la rutina de la distribución de la multiplicación sobre la adición y su utilización para la radicación [^{xvii}].

Esta descripción permite proponer la manera como están formuladas estas rutinas en el cerebro, que no es proposicional sino procedimental, como lo ha mantenido con sólidos argumentos desde hace tiempo John R. Anderson [^{xviii}, ^{xix}]. Ese análisis permite apreciar de manera muy positiva el esfuerzo de generalización creativa que ha hecho el alumno al transferir una subrutina que aprendió en un contexto, hacia otras operaciones en un contexto nuevo. Permite además refinar las estrategias pedagógicas, como la de proponer al alumno un contraejemplo en el que no se cumpla lo esperado por él, para provocar un "desequilibrio conceptual" o una "disonancia cognitiva", que estimule a su vez la reprogramación del procedimiento abusivamente extendido, para que cuente con los filtros apropiados que impidan su utilización en los contextos en que no produzca resultados correctos.

En general, lo que se espera de cualquier investigación cognitiva que vaya teniendo algún éxito en explicar con la metáfora computacional los comportamientos de adquisición y utilización del conocimiento por parte de los niños, los adolescentes o los adultos, los novicios o los expertos, es que permita redefinir las secuencias curriculares óptimas y los tipos de disonancia cognitiva que pueden ser pedagógicamente más adecuados para

producir reprogramaciones del control cerebral del proceso de información, que vayan llevando a los novicios al nivel de competencia de los expertos.

LAS LIMITACIONES DE LA METÁFORA

Desde su misma constitución histórica y epistémica, la ciencia cognitiva nace y crece con tres limitaciones claras desde el punto de vista científico, y una limitación de fondo desde el punto de vista epistemológico. Las tres primeras limitaciones son:

- a. La metáfora del cerebro como computador privilegia lo individual sobre lo social.

Aunque la intervención de la antropología en la constitución de la ciencia cognitiva pueda moderar esta limitación, no puede negarse el que se centre en lo individual que se deriva de considerar cada persona como un computador encerrado en una frágil caja ósea en la parte superior de un cuerpo, el cual solo sirve de interfaz entre el mundo y la máquina.

- b. La metáfora del cerebro como computador privilegia lo cognoscitivo sobre lo afectivo.

Aunque los investigadores cognitivos sean concientes de ese sesgo, como lo fue en su tiempo Piaget respecto a la psicología genética, no deja de ser preocupante el olvido de los factores afectivos que incentivan o impiden el progreso en el conocimiento. La fobia hacia las matemáticas, que tan bien describió Seymour Papert y bautizó con el nombre de "matofobia", es tal vez el factor preponderante en el bajo rendimiento en matemáticas en niños y adolescentes [xx].

- c. La metáfora del cerebro como computador privilegia lo intelectual sobre lo psico-motriz.

Aunque Piaget hubiera propuesto que las operaciones mentales provienen de la interiorización, reversibilización y coordinación de las acciones senso-motrices del niño, la restricción de los modelos a la programación de un computador cerebral parece olvidar esa propuesta. Desde el punto de vista motriz, los computadores actuales solo pueden recibir y expulsar diskettes y accionar impresoras. Hasta los robots más eficientes sólo siguen programas previamente establecidos, y aún no aprenden de la exploración abierta de su entorno. Esta limitación hace que los modelos computacionales no tengan en cuenta este aspecto fundamental del aprendizaje infantil.

Además de estas tres limitaciones detectables desde el punto de vista científico, la metáfora del computador, como toda metáfora, tiene la tendencia a convertirse en obstáculo epistemológico en el sentido de Bachelard. El investigador que la utiliza, deslumbrado por su mismo éxito, tiende a extenderla a todos los campos, y se encongece respecto a las limitaciones de la metáfora y a las posibles alternativas que no se sometan a su hegemonía.

Howard Gardner subraya la paradoja que va surgiendo al ritmo mismo del progreso en la investigación cognitiva: mientras más se refinan los programas que pretenden simular los comportamientos considerados como inteligentes, más claramente se perciben las

diferencias entre los computadores así programados y la manera como proceden los niños, los adolescentes y los expertos.

Por otra parte, si no se hubieran hecho esos esfuerzos de simulación por computador, no se habrían detectado tan claramente esas diferencias, ni se podría avanzar en la conceptualización de sus especificidades.

La metáfora del computador, como los demás obstáculos epistemológicos, tiene pues un papel claramente dialéctico que no subrayó suficientemente Bachelard, tal vez por haber insistido ante todo en el aspecto negativo de los obstáculos. A la vez, y por los mismos aspectos, un obstáculo epistemológico sirve como barrera que impide el avance en otras direcciones fructíferas, pero también sirve como puente hacia la profundización en el conocimiento del conocimiento humano.

Como sucede con el sentido común y los saberes cotidianos, estos se constituyen a la vez en el punto partida, en la posibilidad de avance, y en la base de la crítica al conocimiento científico, pero también en obstáculos difíciles de superar en la construcción de nuevos conceptos y en la difusión de nuevas teorías.

Propongo pues, para terminar, la aceptación decidida de la metáfora del cerebro como computador en los programas de investigación cognitiva como herramienta indispensable de gran potencial heurístico, pero, su aceptación no como modelo único y excluyente sino precisamente como metáfora, con todas las limitaciones y reservas que ese reconocimiento implica. Sería una posición no solo miope sino también antidialéctica, tanto el destierro de la metáfora del cerebro como computador de los terrenos de la epistemología y de la ciencia cognitiva, como la entronización de la misma como modelo único del proceso complejo y sorprendente del conocimiento humano.

REFERENCIAS

- i BRUNER, J.S. (1983). *In search of mind*. New York: Harper & Row, p. 274.
- ii MILLER, G.A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, **63**, 81-97, (1956).
- iii von NEUMANN, J. (1958). *The computer and the brain*. New Haven, CT: Yale University Press.
- iv GARDNER, H. (1985). *The mind's new science*. New York: Basic Books.
- v BRUNER, J.S. y ANGLIN, J. (1973). *Beyond the information given: Studies in the psychology of knowing*. New York: W.W. Norton.
- vi NEISSER, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton, Century, Crofts.
- vii NEWELL, A. y SIMON, H. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- viii BODEN, M.A. (1977). *Artificial intelligence and natural man*. New York: Basic Books.

- ix BODEN, M.A. (1988). *Computer models of mind*. Cambridge, New York, etc.: Cambridge University Press, esp. pp. 213-224 y 251-258.
- x BRAINERD, C.J. (Ed.) (1982). *Children's logical and mathematical cognition: Progress in cognitive developmental research*. New York, etc.: Springer-Verlag.
- xi SIEGLER, R.S. (Ed.). (1978). *Childrens' thinking: What develops?* Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- xii STERNBERG, R.J. (1985). *Beyond I Q: A triarchic theory of human intelligence*. Cambridge, New York, etc.: Cambridge University Press.
- xiii PASCUAL-LEONE, J. (1970). A mathematical model for the transition rule in Piaget's developmental stages. *Acta Psychologica*, 32, 301-345, (1970).
- xiv CASE, R. (1985). *Intellectual development: From birth to adulthood*. Orlando, FL: Academic Press.
- xv GROEN, J.G. y PARKMAN, J.M. (1972). A chronometric analysis of simple addition. *Psychological Review*, 79, 329-343, (1972).
- xvi RESNICK, L.B. (1980). The role of invention in the development of mathematical competence. En R.H. KLUWE y H. SPADA (Eds.), *Developmental models of thinking*. New York, NY: Academic Press.
- xvii DAVIS, R. (1984). *Learning mathematics*. Norwood, NJ: Ablex, esp. pp. 28-38.
- xviii ANDERSON, J.R. (1976). *Language, memory and thought*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- xix ANDERSON, J.R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- xx PAPERT, S. (1980). *Mindstorms: Computers and powerful ideas*. New York: Basic Books, pp. 38-54.