

CIENCIA COGNITIVA, HABILIDADES DEL PENSAR Y PEDAGOGÍA DE LA CIENCIA

por MERCÈ GARCÍA-MILA* y MIQUEL MARTÍNEZ

University of Columbia y Universidad de Barcelona

Hemos definido en diferentes ocasiones (Martínez, 1989) que el paso de una sociedad de la información y de las tecnologías a una sociedad del conocimiento y de las comunicaciones, no puede ser protagonizado por todos los ciudadanos por igual y requiere una atención pedagógica específica que debe tener en cuenta las diferencias individuales y el ejercicio de acciones pedagógicas orientadas especialmente al desarrollo de competencias, procedimientos, actitudes y valores y no tanto al aprendizaje de informaciones y conceptos.

En este sentido, sostenemos que existen tres ámbitos de acción fundamentales para el trabajo pedagógico. El primero estaría constituido por el desarrollo y aprendizaje de habilidades del pensar (Gros, 1987; Gallifa, 1989), el segundo por el desarrollo y educación moral (Puig y Martínez, 1989), y el tercero, por el aprendizaje de aquellas habilidades y estrategias que permiten jugar con la información, la documentación y la comunicación en el escenario tecnológico actual (Aguareles, Martínez y otros, 1990).

En los tres ámbitos señalados, las aportaciones de las ciencias cognitivas nos parecen fundamentales y permiten iniciar a nuestro entender la construcción de una perspectiva cognitiva en el marco de la

* Las aportaciones a este artículo debidas a Mercè García-Milà ha sido posibles gracias a la Beca Fulbright-La Caixa 1988-1990 y a la Beca CIRIT de la Generalitat de Catalunya 1990-1991 en el Teacher's College de la Universidad de Columbia (Nueva York, USA).

Pedagogía y en especial de la Teoría de la Educación. Los orígenes de este proceso pueden situarse en los primeros planteamientos de Alejandro Sanvisens (Sanvisens, 1956, 1985). La trayectoria de Sanvisens a lo largo de las últimas décadas ha generado un ambiente propicio para el desarrollo de trabajos, investigaciones y publicaciones que a pesar de no ser, en número, abundantes, sin duda permiten afirmar que en la Pedagogía actual en España, la perspectiva sistémica y cibernética es un tópico utilizado para definir líneas de investigación o marcos teóricos de análisis y producción de conocimiento tanto descriptivo y comprensivo como normativo y praxiológico (Castillejo y Colom, 1987).

Sin embargo, el desarrollo de disciplinas cognitivas, especialmente en el campo de la Psicología y en el del Procesamiento de la Información, ha sido mucho más rico en investigaciones y fecundo en producción. Es por ello que, sin lugar a duda, la reflexión y producción en estos campos debe ser integrada en la construcción teórica de la educación y de la Pedagogía en general.

Nos vamos a referir en esta ocasión al desarrollo de una práctica pedagógica científica: la colaboración entre la enseñanza de las ciencias y la ciencia cognitiva.

Esta práctica, especialmente en el sistema educativo formal de los tramos primarios y, sobre todo, secundarios y postobligatorios, es habitualmente el lugar y el tiempo pedagógico en el cual el alumno aprende a leer, por ejemplo, el mundo físico que le rodea, a desarrollar las habilidades de razonamiento científico y, en definitiva, las habilidades del pensar y sus formas de proceder para pensar y conocer en relación al entorno material o natural que le es propio.

La enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cognitiva es un campo nuevo que debe desarrollarse mediante la labor conjunta de pedagogos, profesores de ciencias y teóricos cognitivos. Este artículo pretende cubrir las áreas de investigación básicas que han surgido de tal colaboración, con el fin de crear una práctica científica de la enseñanza de las ciencias en la educación secundaria.

La Ciencia Cognitiva está formada por la convergencia de la Inteligencia Artificial, Psicología, Lingüística, Antropología, Filosofía y expertos en el área objeto de estudio (Gentner y Stevens, 1983), en nuestro caso, las Ciencias Experimentales. La investigación en la Ciencia Cognitiva difiere de la Psicología Cognitiva en que la primera se preocupa por el contenido de la información con la que se pretende razonar, entender, conocer y aprender, poniendo el énfasis en las representaciones mentales de conocimientos específicos y los procesos cognitivos que

operan sobre tales representaciones mentales. Los teóricos del aprendizaje de la Psicología Cognitiva, por el contrario, realizan un tipo de investigación abstracta y libre de contenido.

I. La enseñanza de las ciencias: una perspectiva tradicional

La perspectiva tradicional de la enseñanza de las ciencias está basada en el Conductismo. Éste basa sus teorías en datos obtenidos a través de la observación directa del comportamiento humano, considerando a la mente humana como una caja negra. El aprendizaje desde esta perspectiva se mide en forma de cambios permanentes en el comportamiento observable, y por tanto, su objetivo es el resultado de la instrucción: aquello que el alumno debe saber al final del proceso instructivo. Se pone todo el énfasis en el conocimiento declarativo [1] que el estudiante debe almacenar en la memoria al final de la instrucción. Por el contrario, la perspectiva cognitiva describe el aprendizaje mediante cambios en el contenido y organización estructural de la mente.

Hay dos aspectos fundamentales en los que se centra la perspectiva tradicional de la enseñanza de ciencias como la Física, la Química, la Biología y la Geología. El primero se refiere al aprendizaje de conceptos y adquisición de conocimiento a través de la resolución de problemas desde un punto de vista cuantitativo. El segundo, íntimamente relacionado con el anterior, se refiere a la cuestión de enfocar la enseñanza de las ciencias sólo para futuros científicos, es decir, aquellos estudiantes que pretenden seguir carreras universitarias en el área de las ciencias.

En cuanto al primer aspecto, centrado en el desarrollo de habilidades para resolver problemas desde un punto de vista cuantitativo, la metodología instructiva más común consiste en introducir leyes cuantitativamente, leyes de Newton, ley de los gases perfectos, etc., a modo de ecuaciones cuyas variables deberán ser sustituidas por los datos del problema y trabajadas algebraicamente hasta obtener el valor deseado. Esta metodología presenta el problema del completo olvido de los principios cualitativos causales que subyacen en tales ecuaciones.

Según el informe sobre *Liberal Education and the Sciences* elaborado por la asociación: *American Association for the Advancement of Science* (AAAS, 1990), la perspectiva tradicional de la enseñanza de las ciencias suprime la curiosidad del alumno, limitando su habilidad a la aplicación de principios científicos a la solución de problemas de libros de

texto. Cuando se les pide a los alumnos que solucionen problemas cualitativos referidos al mundo real, a menudo interpretan incorrectamente los mismos principios que antes habían aplicado correctamente al resolver problemas de libros de texto.

Esta importancia, dada al aspecto cuantitativo de los problemas, es paralela al énfasis en premiar el resultado correcto de un problema sin tener en cuenta el proceso seguido para su obtención. Esto agrava el problema al permitir a muchos alumnos aprobar cursos de Física o Química, tanto de Bachillerato como universitarios, aún cuando los conceptos, leyes y principios científicos hayan sido mal asimilados. Tan arriesgado es considerar que los alumnos que no han obtenido un resultado determinado en un problema de texto no han asimilado el concepto, como decir que aquéllos que obtienen el valor con exactitud y precisión, lo han asimilado completa o parcialmente. Veamos el siguiente ejemplo tomado de Lythcott (1990, 248). *Dada una sned de 1'5 sam por lov y 30 sam. Cuántos lov obtenemos?* La respuesta a esta cuestión sin sentido es de 20 lov. La respuesta correcta se produce sin que se requiera conocimiento significativo sobre *sned*, *lov* y *sam*. Esto ocurre a menudo con los alumnos cuando tienen que solucionar problemas de masa, volumen y densidad, sin entender ninguno de los tres conceptos; este fenómeno es perfectamente extensible a cualquier otra áreas de ciencias.

Ya han empezado a aparecer algunas publicaciones, especialmente en el área de Física, intentando superar este problema. Dos ejemplos claros de libros de texto en los que se accede a la Ciencia desde un punto de vista cualitativo son: *Conceptual Physics* de Hewitt (1985) y *Thinking Physics: Practical Lessons in Critical Thinking* de Epstein (1988). Ambos autores defienden que no hay que permitir que la superestructura cuantitativa de la Física obstaculice su fundamento cualitativo.

El segundo aspecto fundamental en el enfoque tradicional de la enseñanza de las ciencias se refiere a la poca relevancia que el contenido del curriculum de estas materias tiene para la mayoría de alumnos. Éstos pierden todo interés por la ciencia, ya que el curriculum parece ser irrelevante tanto para el mundo físico que les rodea como para el contexto social en el que se encuentran. Por esta razón, la instrucción en el área de las ciencias solamente atrae a un pequeño sector de la población de la enseñanza secundaria. La falta de relaciones causales entre conceptos de la vida cotidiana y la falta de relevancia de las ideas científicas presentadas en el aula desanima a muchos estudiantes a proseguir en el campo científico (Klopfer y Champagne, 1990). El resultado es que solamente optan por las asignaturas de ciencias los

futuros científicos, los que se ven obligados a ello por querer estudiar carreras universitarias en el área de las ciencias.

II. La enseñanza de las ciencias: una perspectiva cognitiva

La investigación en el campo de la Ciencia Cognitiva ha conducido a un nuevo consenso en la naturaleza del aprendizaje de las ciencias. Los puntos principales que separan la perspectiva tradicional de la cognitiva son: 1) el énfasis que esta última pone en los procesos de aprendizaje en lugar de los productos de la instrucción; 2) la especial importancia que la ciencia cognitiva da a la naturaleza del que aprende, y 3) el papel que el conocimiento previo en la memoria juega en los procesos de aprendizaje.

La colaboración entre teóricos cognitivos, pedagogos y profesores de ciencias, aunque reciente, ya está produciendo sus frutos en cuanto a comprender mejor la cognición humana y desarrollar métodos formales para evaluar cambios cognitivos. Los objetivos fundamentales que tal colaboración se plantea son: 1) el estudio de los procesos de aprendizaje de los conceptos científicos, especialmente en lo que se refiere a las representaciones mentales que conducen a la adquisición de conocimiento científico, y 2) el estudio de las habilidades de pensamiento que conducen al razonamiento científico. Estos dos objetivos están trabajados desde el enfoque del Constructivismo [2], la Teoría del Procesamiento de la Información y la Psicología del Desarrollo Cognitivo.

Los integrantes de la Ciencia Cognitiva, además, parecen estar de acuerdo en plantear todos estos objetivos bajo un denominador común: Ciencia para todos en lugar de Ciencia sólo para futuros científicos. Klopfer y Champagne (1990) hacen un elaborado análisis de esta cuestión. Establecen dos puntos de vista distintos desde los cuales se puede estudiar el problema: el del *profesionalista* y el del *visionario* [3]. Para el profesionalista, el principal objetivo de la enseñanza de las ciencias es preparar futuros científicos; alumnos que desarrollarán carreras científicas. Para ello, los profesores del área de ciencias en la Educación Secundaria deberán establecer una buena base científica para que estos futuros científicos desarrollen con éxito sus estudios universitarios. Para el visionario, el objetivo principal es conseguir gente *alfabetizada* en áreas científicas, tanto estudiantes que seguirán una carrera científica como especialmente los que no. Este objetivo implica centrarse tanto en la comprensión de aquellos conceptos y principios que procuran una vida sana, segura y más efectiva como en el desarrollo de las

habilidades de investigación racional para aplicarlas a cualquier campo de razonamiento.

1. *Adquisición de Conocimiento*

Se han realizado numerosos estudios abordando el problema de la adquisición de conocimiento específico. Éstos se han realizado desde dos perspectivas distintas: 1) la Teoría del Cambio Conceptual, englobada dentro del Constructivismo y la Teoría del Procesamiento de la Información. Esta última se ha centrado en determinar las diferencias entre expertos y novatos en la solución de problemas de texto y la ejecución de tareas específicas, con el fin de desarrollar modelos explícitos de procesamiento y representación de la información. Estos modelos son de dos tipos: 1) los modelos psicológicos, los cuales pretenden simular la forma de pensar humana y, por tanto, entender mejor los procesos de aprendizaje, y 2) los modelos de Inteligencia Artificial, los cuales apuntan a resolver los problemas o tareas con éxito, independientemente del proceso seguido para conseguirlo. El fin de estos últimos es diseñar sistemas expertos para facilitar el aprendizaje de los humanos o bien, automatizar su razonamiento [4].

Los trabajos pioneros en esta área (Pozo, 1989) consisten en determinar las diferencias cuantitativas en los procesos de solución de problemas entre los expertos y los novatos: tiempo de solución, y número de errores mediante el citado método de obtención de protocolos al pensar en voz alta. Estas diferencias cuantitativas permiten inferir las distintas estrategias utilizadas en la solución de problemas tales como: 1) el tiempo empleado por expertos en hacer un análisis cualitativo previo a las operaciones algebraicas; 2) la forma de trabajar de los novatos y de los expertos. Los primeros trabajan *hacia atrás* aplicando una ecuación que incluye la meta final y van hacia atrás hasta incluir los datos del problema en cada ecuación obtenida al sustituir valores. Los expertos, por el contrario, trabajan *hacia adelante* utilizando directamente los datos proporcionados en el enunciado del problema hasta llegar a la meta final (Larkin, 1983). Sin embargo, para determinar las distintas representaciones mentales de conocimiento elaboradas por novatos y expertos es necesario estudiar sus diferencias cualitativas cuando solucionan problemas. Estas diferencias cualitativas se han determinado mediante el método de categorización de problemas.

En estudios que ya son clásicos (Chi, Feltovich y Glaser, 1981, y Chi, Glaser y Rees, 1982) se les daba a los sujetos problemas que eran similares en su estructura superficial, por ejemplo, problemas de razonamiento, plano inclinado, poleas, etc.; pero que necesitaban la aplica-

ción de principios físicos distintos para su solución, como las leyes de Newton, Conservación de la Energía, etc., y problemas incluyendo distintos aspectos superficiales, pero cuya solución requería la aplicación de los mismos principios físicos. Estos estudios proporcionan interesantes resultados. Los novatos clasificaban los problemas de acuerdo con los aspectos superficiales, mientras que los expertos lo hacían en función de los principios físicos subyacentes. Chi, Feltovich y Glaser (1981) elaboraron esquemas mentales de conocimiento en forma de jerarquías a partir de las categorizaciones realizadas por expertos y novatos. Los novatos ponían en el núcleo superior de la jerarquía los aspectos superficiales mencionados en el enunciado del problema: polea, bloque, razonamiento, plano inclinado, etc. A partir de estos núcleos de la jerarquía derivaban los principios de la Física, en muchos casos irrelevantes para el problema en cuestión, aunque relacionados de una forma general con los conceptos superficiales del enunciado. Los esquemas mentales de los expertos representaban en el tronco principal de la jerarquía los principios generales de la Física, en el siguiente nivel las condiciones restrictivas de aplicación de tal principio al problema en particular en forma de sistemas de producción, y en la base, las características superficiales del problema.

Chi, Glaser y Rees (1982) indujeron la jerarquización y el número de relaciones entre categorías a partir de las representaciones gráficas de cuarenta problemas de física realizados por novatos y expertos. Las representaciones gráficas de los novatos contenían muchas más categorías básicas, por tanto, menos problemas en cada categoría. A menudo presentaban un problema por categoría y la clasificación era, por tanto, lineal, sin relaciones entre categorías. Por su parte, las representaciones gráficas de los expertos estaban formadas por jerarquías en forma de árbol, por tanto el número de las categorías básicas era radicalmente menor y el número de relaciones entre categorías mayor. Así, pues, la transformación de novato a experto se da, no por medio de la acumulación de conocimiento, sino a través de una mejor estructuración cualitativa de este conocimiento.

Por un lado, los estudios sobre novatos y expertos han sido precursores en determinar formas de representación: esquemas mentales (Rumelhart, 1985), reglas de producción (Greeno y Simon, 1988), redes jerárquicas (Chi y Koeske, 1983) y modelos mentales (Gentner y Stevens, 1983). Estos modelos de representación permiten diseñar modelos de instrucción basados en representaciones mentales externas (libros de texto, *software*) que se basen en dichas representaciones mentales internas que la Psicología Cognitiva está delineando (Larkin, 1983).

Por otro lado, los estudios sobre expertos y novatos han servido para detectar y aislar el problema de la reestructuración del conocimiento en el área de las ciencias y estudiarlo más detenidamente. El fenómeno de la reestructuración del conocimiento científico por parte del alumno ha sido estudiada desde la perspectiva de la Teoría del Cambio Conceptual, la cual se fundamenta en crear un paralelismo entre la evolución de las teorías de los estudiantes con la evolución del Conocimiento Científico en la Historia de la Ciencia. La Teoría de Cambio Conceptual se basa en las Teorías Epistemológicas de T. S. Kuhn (1962) y Lakatos (1978) sobre la evolución histórica del conocimiento científico. Carey, principal representante, defiende que la dificultad de los estudiantes para entender Ciencia subyace en la falta de esquemas mentales apropiados con los cuales integrar información científica conceptual. Estos esquemas mentales, propugna Carey, son iguales a los esquemas mentales correspondientes al estado del conocimiento científico aristotélico y medieval y evolucionan de igual forma que la Ciencia, a través de cambios radicales de paradigmas resultando en teorías inconmensurables (T. S. Kuhn, 1962).

Los estudiantes llegan a clase con unos esquemas mentales desarrollados espontáneamente a través del contacto con los fenómenos de la vida diaria. Estos esquemas mentales son cualitativamente muy distintos de los de los expertos, contienen concepciones *naive*; son intuitivos, ingenuos, erróneos, universales entre sujetos y resistentes a la instrucción. El nombre adoptado por estas concepciones es el de *misconceptions* [5]. Varios estudios han demostrado que estos conceptos previos con los que los alumnos vienen a clase interfieren con el aprendizaje de conceptos científicos, debido especialmente a su resistencia a la instrucción.

Un ejemplo clásico de concepciones *naive* representativo por su resistencia a la instrucción es la teoría del movimiento de los cuerpos. Múltiples estudios (B. Green, M. McCloskey y A. Caramazza, 1980; L. Lebonthe-Barrel, 1976; L. Viennot, 1979) demuestran que la mayoría de los estudiantes universitarios de primer curso creen que los cuerpos más pesados, manteniendo las otras características constantes, caen significativamente más rápidos que los más ligeros. Lo más sorprendente es que no se encuentran diferencias significativas entre los estudiantes que han realizado cursos de Física anteriormente y los que no. El principio central de esta teoría *naive* es que considera que la velocidad es proporcional a la fuerza, en lugar de la aceleración. La proposición que defiende que, cuanto mayor es la velocidad de un cuerpo, mayor es la fuerza sobre él, lleva a los estudiantes a concluir que el peso aumenta cuando el objeto se acerca al suelo. Una caracterís-

tica sorprendente de las concepciones *naive* es su acomodación a la información inconsistente (Champagne y Kolpfer, 1990). El problema es que éstas derivan de la experiencia diaria con el mundo que nos rodea; está claro que las piedras caen más rápido que las plumas, y debido a que no vemos nunca a las plumas caer en el vacío, no tenemos ocasión de experimentar con hechos que contradicen tales concepciones *naive*.

Han proliferado en los últimos años gran número de trabajos que estudian los sistemas explicativos y descriptivos de los fenómenos científicos que los alumnos presentan antes de seguir ninguna instrucción. La investigación sobre las concepciones *naive* se ha desarrollado en tres fases. Durante la primera fase las concepciones *naive* simplemente se detectaban y se ponían en evidencia. Algunos ejemplos representativos son Wisey y Carey (1983) sobre calor y temperatura, McCloskey (1983) sobre el movimiento curvilíneo, Clement (1983) sobre la caída de los cuerpos, Hatano y Inagaki (1987) sobre Biología Molecular (1987) y Lythcott (1990) sobre la estructura química de la materia. La segunda fase se encuentra en su apogeo, y consiste en estudiar la forma en que los alumnos pueden superar tales concepciones *naive* (Hewon y Hewson, 1984; White, 1988). Otra fase está desarrollándose, aquélla que trata de explicar el origen de tales concepciones y cómo evitarlas. Algunos intentos pioneros son Yates y col. (1988) y Holland y col. (1986).

Es fundamental, pues, que los profesores aprendan a detectar las teorías *naive*, ya que la comprensión de los conceptos de ciencias por parte de los alumnos está totalmente condicionada al conocimiento previo. En el caso de la Mecánica Clásica, por ejemplo, hay que conseguir que los estudiantes construyan esquemas mentales coordinados y con consistencia que engloben conceptos particulares del movimiento de los cuerpos. Por ejemplo, los alumnos deben entender que tanto la caída libre, el plano inclinado, movimiento horizontal no son tipos aislados de fenómenos físicos, sino que se rigen por las mismas leyes. Hay que evitar la compartimentalización del conocimiento en la memoria. La información debe integrarse en esquemas de forma globalizada con el fin de hacer explícitos los principios contradictorios los cuales, en caso contrario, coexistían de forma aislada. Debemos olvidarnos de los métodos evolutivos que miden simplemente la capacidad del alumno para recordar cuerpos específicos de conocimiento y métodos algorítmicos para resolver problemas de texto cuantitativos que no requieren ninguna comprensión conceptual.

De acuerdo con Carey (1985) y Keil (1986), las dificultades para

aprender Ciencia se deben a la falta de una comprensión adecuada, producida por la falta de esquemas mentales apropiados y la interferencia de las concepciones *naive*. Existe otro campo de investigación que defiende que las dificultades de los alumnos para aprender Ciencia, además de la falta de conocimiento adecuado, yace en los procesos de razonamiento que deben aplicarse a tal conocimiento. Esta área de investigación centra su interés en las diferentes habilidades y estrategias de razonamiento mostradas por los alumnos cuando éstos se estudian desde un punto de vista evolutivo.

2. *Habilidades de Razonamiento*

Los trabajos de Piaget han originado la perspectiva que propugna que las diferencias en aprendizaje entre niños y adultos no son paralelas a las diferencias entre novatos y expertos. Esto es debido no sólo a cambios en la base de conocimiento, tal como Carey (1985) y Keil (1981) defiende, sino también a los distintos procesos de razonamiento sobre el mundo físico real. La teoría de Piaget creó la línea de pensamiento que defiende que la habilidad de pensar hipotéticamente se desarrolla como una estructura cognitiva general y no depende de la adquisición de conocimiento de dominio específico. Piaget describe estas estructuras cognitivas como habilidades lógicas generales, independientes de la realidad a la cual se aplican. Esta habilidad para pensar hipotéticamente es, según Piaget (1972), la base para el pensamiento científico. Otro gran problema del aprendizaje de la Ciencia es, pues, el desarrollo de las habilidades de pensamiento inferencial.

Si analizamos el razonamiento científico desde el punto de vista de su aplicación a la adquisición de conocimiento, es necesario hacer un análisis evolutivo para determinar cómo se desarrollan las habilidades de razonamiento inductivo y cuán específico es su desarrollo a determinadas áreas de conocimiento. En los últimos años ha habido una gran proliferación de estudios evolutivos de las habilidades de razonamiento. Los que siguen la tradición piagetiana han estudiado las habilidades de razonamiento como herramientas generales. La tendencia actual, sin embargo, aplica estas habilidades a cuerpos específicos de conocimiento y considera que el conocimiento previo es un factor determinante en los procesos de inducción.

La Teoría de Procesamiento de la Información nunca se ha interesado en estudios evolutivos de desarrollo cognitivo. En un trabajo pionero desde esta perspectiva, Dunbar y Klahr (1988) han desarrollado un modelo de razonamiento adaptando el modelo de reglas de inducción de Simon y Lea (1974) para explicar las diferencias evolutivas en los

procesos de razonamiento científico centrándose en los procesos de descubrimiento. Su modelo se llama *Scientific Discovery Dual Search*, SDDS. Los sujetos en su investigación aprendían a operar un robot controlado por ordenador con múltiples funciones. El experimento consistía en descubrir cómo funcionaba una determinada función: *repeat key*. Los sujetos debían formular hipótesis y diseñar experimentos para evaluar dichas hipótesis, sin obtener ningún tipo de *feedback* por parte del experimentador. La ventaja de este experimento estriba en que permitía a los sujetos pasar de las hipótesis al ciclo evaluativo: generar hipótesis, diseñar experimentos, evaluar evidencia y generar nueva hipótesis basadas en previa evidencia. Esta técnica permite al experimentador observar los procesos de cambio en los sujetos.

Dunbar y Klahr (1988) realizaron dos estudios, uno sólo con adultos, a partir del cual desarrollaron el modelo SDDS (Klahr y Dunbar, 1988), y el otro comparando niños con adultos, al cual aplicaron el modelo anterior (Dunbar y Klahr, 1988). Las principales diferencias encontradas entre niños y adultos fueron: 1) el tipo de hipótesis propuestas por los niños eran diferentes de las de los adultos, aunque fueran inducidas por el mismo tipo de datos experimentales; 2) los niños eran incapaces de abandonar el marco conceptual a partir del cual inducían sus hipótesis, y 3) los niños no intentaban comprobar si sus hipótesis eran consistentes con los datos previos. Los resultados del experimento sostienen que los niños trabajan localmente, en lugar de hacerlo de una forma global, es decir, se conforman con interpretaciones locales y sacan conclusiones de inferencias hechas sobre el último resultado generado. Aún más, cuando los niños se daban cuenta de que obtenían evidencia en contra de ciertas hipótesis, declaraban que el robot «generalmente» funciona de acuerdo con su teoría.

Otros estudios hechos por Kuhn (Kuhn, 1989) corroboran estos resultados. Cuando a los adolescentes (11-15 años), se les pedía que encontraran qué variable era la causante de cierto resultado, éstos aceptaban hipótesis basadas en evidencia incompleta, ya que no tomaban en consideración información que resultaba de experiencias previas, y si se les pedía a los sujetos que generasen evidencia contradictoria con sus propias creencias, éstos fracasaban en el intento.

Otro experimento comparando niños y adultos que respalda los resultados anteriores es el realizado por Schauble (Schauble y Glaser, 1990). Esta autora estudió niños de 10 a 12 años, durante siete sesiones semanales de 30 minutos cada sesión, con el propósito de estudiar la evolución de las estrategias de los sujetos a través de la práctica [6]. El experimento consistía en determinar las relaciones causales que exis-

ten entre las distintas características (color, alerón, etc.) de una serie de coches y su velocidad en una simulación por ordenador. Esta autora tomó en consideración las teorías previas que los sujetos aportaban a la primera sesión, con el propósito de estudiar el efecto de las teorías previas en todas las operaciones mencionadas y la habilidad para generar, manipular, interpretar y inducir nuevas inferencias de los datos. Sus resultados prueban que los niños era capaces de diseñar experimentos, aunque en muchos casos éstos no eran ni sistemáticos, ni informativos, y por tanto las inferencias se basaban en evidencias no válidas. El método microgenético utilizado por Schauble demuestra que, cuando se les da a los niños la oportunidad de practicar las habilidades exploratorias a lo largo de varias sesiones, se puede observar una mejora constante.

Los resultados de los estudios anteriores permiten concluir que las habilidades de razonamiento no se adquieren a través del mero desarrollo y que no son aplicables a cualquier área de conocimiento, prescindiendo del conocimiento y la experiencia que los sujetos tienen en ese dominio en particular. El método microgenético parece ser crucial para comprender el efecto de la instrucción y la experiencia con la tarea en la adquisición de este tipo de habilidades para pensar científicamente.

III. Conclusiones

Cuando aplicamos los resultados de los anteriores estudios al problema del aprendizaje de las ciencias, podemos concluir que los alumnos deben desarrollar una mejor comprensión del método científico de investigación. El capítulo introductorio sobre el método científico en los libros de texto de Física, Química, Biología o Geología es insuficiente para conseguir tal desarrollo.

Las habilidades para pensar científicamente deben desarrollarse paralelamente a la adquisición de conocimiento específico. Este conocimiento específico debe estar íntimamente relacionado a los fenómenos de la vida diaria que rodean al alumno. Este debe aprender a «leer» el mundo físico concreto que tiene a su alrededor, y desarrollar las habilidades de razonamiento científico. Debe procurarse la adquisición del conocimiento a través del desarrollo de tales habilidades aplicadas a problemas concretos del mundo físico real que rodea al alumno de forma que este conocimiento quede integrado en una red causal de conceptos en los que no pueda incorporarse ninguna concepción *naive*.

La adquisición de conocimiento científico y las habilidades para pensar científicamente son dos cuestiones íntimamente relacionadas, y que, por tanto, deben trabajarse conjuntamente. Para conseguir ser competente en el área de ciencias hay que desarrollar la habilidad de utilizar una red integrativa de conceptos así como las estrategias inferenciales para desarrollar conocimiento nuevo a partir de dicha red. Si los procesos de razonamiento científico de los niños y adolescentes son significativamente distintos de los de los adultos, o aún más, de los científicos, tal como los resultados anteriores demuestran y tal como D. Kuhn (1989) propugna, hay que desarrollar un modelo evolutivo que conceptualice tales diferencias e integrarlo en un modelo de desarrollo del conocimiento científico. Esta integración de ambos modelos debe constituir la base de una práctica científica de la enseñanza de las ciencias, una práctica científica que tenga en cuenta tanto las habilidades de razonamiento científico, como la adquisición de conocimiento que deriva de la aplicación de tales habilidades.

Dirección del autor: Miguel Martínez Martín y Mercè García-Milà, Departamento de Teoría e Historia de la Educación, Facultad de Pedagogía, Universidad de Barcelona, Baldiri Reixac, s/n., 08028 Barcelona.

Fecha de recepción de la versión definitiva de este artículo: 22.III.1991.

NOTAS

- [1] La Psicología Cognitiva ha definido dos tipos de conocimiento: el conocimiento declarativo (*el saber qué*), el cual corresponde a conocimiento sobre hechos y cosas, y el conocimiento procedural (*el saber cómo*), el cual se refiere a cómo llevar a cabo ciertas actividades cognitivas (Anderson, 1985, p. 199).
- [2] El término Constructivismo ha sido aplicado de forma poco precisa al grupo de trabajos que entienden el aprendizaje como un proceso de reestructuración del conocimiento previo. Ver DRIVER y OLDHAM (1986) A constructivist approach to curriculum development in science, *Studies in science education*, 13, pp. 105-122, para una buena revisión.
- [3] Estos términos han sido traducidos literalmente del inglés: *professionalist* y *visionary*.
- [4] La metodología más utilizada es el análisis de protocolos obtenidos al pensar en voz alta (Erikson y Simon, 1985).
- [5] El término *miskonceptions* se utiliza indistintamente con el de preconcepciones, concepciones *naive*, concepciones espontáneas, concepciones intuitivas o concepciones erróneas. El término utilizado en el resto del artículo es el de concepciones *naive*.
- [6] Esta metodología recibe el nombre de microgenética. El método microgenético consiste en observar a los sujetos durante varias sesiones, de forma que no se les proporciona ningún tipo de *feedback*. La ventaja de este método es que permite determinar cambios debidos a la práctica y familiaridad con la tarea (Schauble, 1990).

BIBLIOGRAFÍA

- AGUARELES, M. A.; MARTÍNEZ, M. y otros (1990) *Escola i noves tecnologies* (Barcelona, Ceac).
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (1990) *The liberal art of science: Agenda for action. The report of the project on liberal education and the sciences* (Washington D.C.).
- CASTILLEJO, J. L. y COLOM, A. J. (coords.) (1987) *Pedagogia sistèmica* (Barcelona, Ceac).
- CAREY, S. (1985) *Conceptual change in childhood* (Cambridge, MA.: MIT Press).
- CHAMPAGNE, A. B. y KLOPPER, L. E. (1984) Research in science education: The cognitive psychological perspective, en D. HOLZKOM y P. B. LUDZ (Eds.) *Research within reach: Science education*, pp. 171-189 (Washington, D.C.: National Science Teachers Association).
- CHI, M. T. H.; FELTOVICH, P. J. y GLASER, R. (1981) Categorización and representation of physics problems by experts and novices, *Cognitive Science*, 5, pp. 121-152.
- CHI, M. T. H.; GLASER, R. y REES, E. (1982) Expertise in problem solving, en STERNBERT (Ed.) *Advances in the psychology of human intelligence*, vol. 1 (Hillsdale, N.J.: Erlbaum).
- CHI, M. T. H. y KOESKE, R. D. (1983) Network representations of a child's dinosaur knowledge, *Developmental Psychology*, 19, pp. 29-39.
- CLEMENT, J. (1983) A conceptual model discurred by Galileo and used intuitively by physics students, en D. GENTNER y A. STEVENS (Eds.) *Mental models*, pp. 325-340 (Hillsdale, N.J.: Erlbaum).
- DI SESSA, A. (1983) Phenomenology and the evolution of intuition, en D. GENTNER y A. STEVENS (Eds.) *Mental models*, pp. 15-33 (Hillsdale, N.J.: Erlbaum).
- DUNBAR, K. y KLAHR, D. (1988) Developmental differences in scientific discovery strategies, D. KLAHR y K. KOTOWSKY (Eds.) *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon (Proceedings of the 21st Carnegie-Mellon Symposium on Cognition)*, pp. 109-144 (Hillsdale, N.J.: Erlbaum).
- EPSTEIN, L. C. (1988) *Thinking physics. Practical lessons in critical thinking* (San Francisco. Insight Press).
- ERICKSON, K. A. y SIMON, H. A. (1980) Verbal reports as data, *Psychological Review*, 87, pp. 215-251.
- GALLIFA, J. (1990) *Feuerstein* (Barcelona, Moia, Raima).
- GENTNER, A. y STEVENS, D. (1983) *Mental models* (Hillsdale, N.J.: Erlbaum).
- GREEN, B.; MCCLOSKEY, M.; CARAMAZZA, A. (1980) Curvilinear motion in the absence of external forces; Naive beliefs about the motion of objects, *Science*, 210, pp. 1.139-1.141.
- GREENO, G.; SIMON, H. A. (1984) Problem Solving and reasoning, en ATKINSON, R. C.; HENNSTEIN, R.; LINZEY, G. y LUCE, R. D. (Eds.) *Handbook of experimental psychology* (New York, Wiley and sons).
- GROS, B. (1989) *Aprender con el ordenador* (Barcelona, PPU).
- HATANO, G.; INAGAKI, K. (1984) Everyday biology and school biology. How do they interact? *The quarterly Newsletter of the Laboratory of Human Cognition*, 9, pp. 130-128.
- HEWITT, P. G. (1985) *Conceptual physics* (Boston Ma., Little Brown and Co.).
- HEWSON, W. H.; HEWSON, M. G. A. (1984) The role of conceptual conflicts in conceptual change and design of science instruction, *Instructional Science*, 13, pp. 1-83.

- HOLLAND, J.; HOLYOAK, K. NISBETT, R. y THAGARD, P. (1986) *Induction: Processes of inference, learning and discovery* (Cambridge, MA: MIT Press).
- KAISER, M. L.; PROFFITT, D. R. y McCLOSKEY, M. (1985) The development of beliefs about falling objects, *Perception and Psychophysics*, 38(6), pp. 533-539.
- KEIL, F. C. (1981) Constructs on knowledge and cognitive development, *Psychological Review* 88, pp. 197-227.
- KLAHR, D. y DUNBAR, K. (1988) Dual space search during scientific reasoning, *Cognitive Science*, 12, pp. 1-48.
- KLOPFER, L. y CHAMPAGNE, A. (1990) Ghosts of crisis past, *Science Education*, 74 (2), pp. 133-154.
- KUHN, D. (1989) Children and adults as intuitive scientists, *Psychological Review*, 96, pp. 674-689.
- KLATOS, I. (1976) *Proofs and Refutations: the logic of mathematical discovery*. (England Cambridge University Press).
- LARKIN, J. (1983) The role of problem representation in physics, en D. GENTNER y A. STEVENS (Eds.) *Mental models*, pp. 53-73 (Hillsdale, N.J.: Erlbaum).
- LEBOUTET-BARREL, L. (1976) Concepts of mechanics in young people, *Physics Education*, 11:7, pp. 462-466.
- LYTHCOTT, J. (1990) Problem solving and requisite of chemistry, *Journal of Chemical Education*, vol. 67, pp. 248-252.
- MARTÍNEZ, M. (1987) Dimensiones adaptativas y proyectivas de los sistemas, en CASTILLEJO, J. L. y COLOM, A. J. (coords.) *Pedagogía sistémica* (Barcelona, Ceac).
- (1986) *Inteligencia y educación* (Barcelona, PPU).
- (1989) Métodos y procesos educativos, en J. M. ESTEVE (Ed.) *Objetivos y contenidos de la educación para los años noventa*, pp. 55-80 (Málaga, Universidad de Málaga).
- McCLOSKEY, M. (1983) Naive theories of motion, en D. GENTNER y A. STEVENS (Eds.) *Mental Models*, pp. 299-324 (Hillsdale, H.J.: Erlbaum).
- NEWELL, A.; SIMON, H. A. (1972) *Human problem solving* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall).
- PIAGET, J. (1972) Intellectual evolution from adolescence to adulthood, *Human Development*, 15, pp. 1-12.
- POZO, J. I. (1989) *Teorías cognitivas del aprendizaje* (Madrid, Morata).
- PUIG, J. M. (1986) *Teoría de la Educación. Una aproximación sistémico-cibernética* (Barcelona, PPU).
- PUIG, J. M. y MARTÍNEZ, M. (1989) *Educación Moral y Democracia* (Barcelona, Laertes).
- RUMELHART, D. E. (1981) Schemata: The building blocks of cognition, SPIRO, R.; BRUCE, B. y BREWNER, W. (Eds.) *Theoretical issues in reading comprehension* (Hillsdale, N.J. Erlbaum).
- SANVISENS, A. (1956) Los problemas de la Cibernética, en GUILBAUD, G. T. *La Cibernética*, pp. 163-225 (Barcelona, Vergara).
- (1984) *Cibernética de lo humano* (Barcelona, Oikos-Tau).
- SCHAUBLE, L.; GLASER, R. (1990) Scientific thinking in children and adults, en KUHN, D. (Ed.) *Developmental perspectives on teaching and learning thinking skills*, pp. 9-26 (Karger).
- SIMON, H. A.; LEA, G. (1974) Problem solving and rule induction: A unified view, en L. W. GREGG (Ed.) *Knowledge and cognition* (Hillsdale, N.J. LEA).

- VIENNOT, L. (1979) Spontaneous reasoning in elementary dynamics, *European Journal of Science Education*, 1:2, pp. 205-225.
- WHITE, B. (1988) Thinker tools: Causals models, conceptual change and science education, BBN Lab. Inc. Report N6873.
- WISER, M. y CARY, S. (1983) When heat hand temperature were one, en GENTNER y STEVENS (Eds.) *Mental models*, pp. 267-296 (Hillsdale, N. J. Erlbaum).
- YATES, J.; BESSMAN, M.; DUNNE, M.; JERTSON, G.; SLY, K. y WENDELBOE, B. (1988) Are conceptions of motion based on naive theory or on prototypes? *Cognition*, 29, pp. 251-275.

SUMMARY: COGNITIVE SCIENCE, THINKING SKILLS AND PEDAGOGY OF SCIENCE.

The article places Thinking skills as the pedagogic action which makes possible for the subject to transform the information Society in which he lives into a Knowledge Society.

It also situates the current development of the cognitive perspective in the education sciences into a systemic and cibernetics perspective which was originated during the seventies in the field of Pedagogic Studies in Spain. It analyses the traditional point of view of science teaching and the cognitive perspective which has allowed from the investigation in cognitive science a new agreement in the nature of science learning.

It also sets up the problem of ordinary and scientific Knowledge adquisition, and the one of thinking skills are not obtained through development only and that are not able to be applied to whatever Knowledge area without the Knowledge and experience which subjects have in this particular field.

KEY WORDS: Cognitive Science. Conceptual Physics. Thinking Physics. Misconceptions. Sciences Teaching.