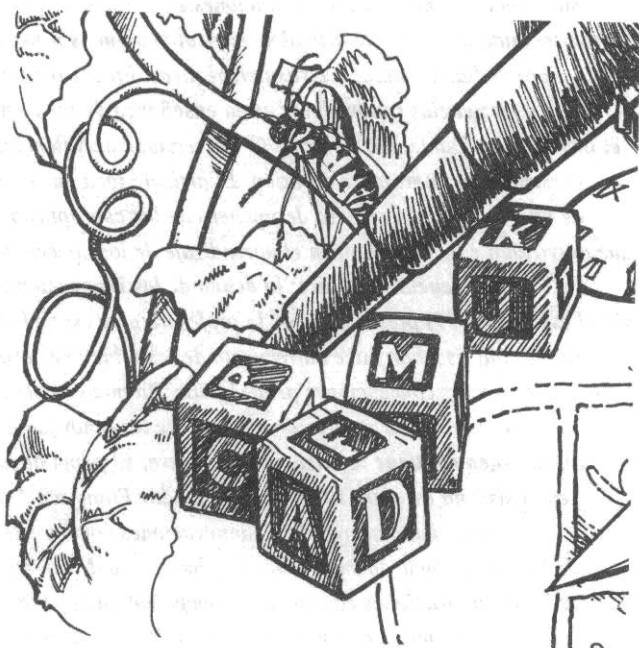


ARTÍCULOS
DE VIDA
DE MAESTRO



TENDENCIAS Y EXPERIENCIAS INNOVADORAS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS (1)

Daniel Gil Pérez

UNIVERSIDAD DE VALENCIA, ESPAÑA.

Queremos llamar la atención, en primer lugar, contra cualquier tentación de ver en los planteamientos *constructivistas* hoy en auge “la solución” a los problemas de enseñanza/aprendizaje de las ciencias. Se corre, efectivamente, el peligro de que se conviertan en un nuevo eslogan superficial e ineficaz, por tanto, para la mejora del aprendizaje. Si algo comienza a estar claro, precisamente, es la necesidad de romper con la idea ingenua —pero extraordinariamente extendida— de que enseñar es fácil: cuestión de personalidad, de sentido común o... de encontrar la receta adecuada para acabar con la “enseñanza tradicional”. Más aún, resulta necesario comprender que tras la idea vaga de enseñanza tradicional existe un modelo coherente de enseñanza/aprendizaje por transmisión/recepción de conocimientos ya elaborados (2) y que la renovación de

(1) Tomado de : GIL PÉREZ, Daniel; OZÁMIZ, Miguel de Guzmán: **“Enseñanza de las Ciencias y la Matemática, Tendencias e Innovaciones”** Editorial Popular S.A. OEI. Madrid.1993.

(2) Ver: GIL, D., Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias, **Enseñanza de las ciencias**, 1 (1), 1983, pgs 26 - 33 y MILLAR y DRIVER, R., Beyond processes. **Studies in Science Education**, 14,1989. Págs 33.- 62

la enseñanza no puede ser cuestión de simples retoques, sino que presenta las características y dificultades de un cambio de paradigma.

Si tras varias décadas de esfuerzos innovadores no se ha producido una renovación efectiva de la enseñanza, ello puede ser atribuido, precisamente, a la falta de comprensión de la coherencia global del modelo “tradicional” y a la ausencia de un nuevo paradigma capaz de dar respuesta a las dificultades encontradas por el primero. Intentaremos aquí evitar estos planteamientos ateóricos, mostrando que los avances en la transformación efectiva de la enseñanza de las ciencias son el fruto complejo —en ningún modo reducible a recetas— del desarrollo convergente de diversas líneas de investigación.

El modelo *constructivista* está jugando hoy ese papel integrador, tanto de las investigaciones en los diferentes aspectos de la enseñanza/aprendizaje de las ciencias, como de los aportes procedentes del campo de la epistemología, psicología del aprendizaje, etc. De este modo, las propuestas *constructivistas* se han convertido en el eje de una transformación fundamentada de la enseñanza de las ciencias.

Los errores conceptuales como síntoma

Se parte de la conmoción provocada por la constatación de que elevados porcentajes de alumnos —incluso universitarios— cometen graves errores en conceptos fundamentales y reiteradamente enseñados. Se analizan detenidamente las causas de estos errores, relacionadas con la

existencia de formas espontáneas de pensamiento y con planteamientos docentes incorrectos.

Un fracaso movilizador

La asimilación por los alumnos de los contenidos conceptuales transmitidos por el profesorado o los manuales y su capacidad para reproducirlos, ha constituido el objetivo más básico de la enseñanza por transmisión de conocimientos ya elaborados. Y todo parecía indicar que, frente a las dificultades encontradas en otros campos como el de la resolución de problemas o el de los trabajos prácticos, un porcentaje suficientemente elevado de estudiantes alcanzaba este objetivo. Bastantes alumnos contestan, efectivamente, con relativa corrección al tipo de cuestiones teóricas habitualmente empleadas en los exámenes. Puede comprenderse, pues, el aldabonazo que supuso —gracias a la introducción de otro tipo de cuestiones— la puesta en evidencia de una grave y general incomprensión de, incluso, los conceptos más fundamentales y reiteradamente enseñados.

Una sencilla pregunta cualitativa del tipo “una piedra cae desde cierta altura en un segundo ¿cuánto tiempo tardará en caer desde la misma altura otra piedra de doble masa?” mostraba que un porcentaje muy alto de alumnos al final de su educación secundaria (e incluso de estudiantes universitarios) consideraba que una masa doble se traducía en mitad de tiempo de caída. Y ello después de haber resuelto decenas de ejercicios numéricos sobre caídas e incluso después de haber hecho un estudio experimental. (La práctica sobre caída de graves es una de las pocas que suelen hacerse en el período de la educación secundaria).

La publicación de algunos estudios rigurosos como la tesis de Laurence Viennot (3) atrajo la atención sobre este problema que cuestionaba la efectividad de la enseñanza allí donde los resultados parecían más positivos. Los alumnos no sólo terminaban sus estudios sin saber resolver problemas y sin una imagen correcta del trabajo científico, sino que la inmensa mayoría de ellos ni siquiera había logrado comprender el significado de los conceptos científicos más básicos, a pesar de una enseñanza reiterada. Particularmente relevante era el hecho de que esos errores no constituirían simples olvidos o equivocaciones momentáneas, sino que se expresaban como ideas muy seguras y persistentes, afectando de forma similar a alumnos de distintos países y niveles (incluyendo a un porcentaje significativo de profesores).

No es de extrañar, pues, que el estudio de los que se denominaron errores conceptuales se convirtiera rápidamente en una potente línea de investigación y que el profesorado concediera a dichos estudios una particular atención, como si conectara con algo que en cierto modo se hubiera ya intuido más o menos confusamente a través de la práctica docente.

(3) Ver: VIENNOT, L., *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire* Tesis doctoral, Université Paris 7.

(4) Ver amplias selecciones bibliográficas en: OSBORNE, R. y WITTROCK, M., *Learning Science: a generative process*. *Science Education*, 67, 1983, págs 490 - 508; CARRASCOSA, J. y GIL, D., *La metodología de la superficilitat i l'apenatatge de les ciències*. *Ensenyanza de las ciencias*, 1985, 3 (2), págs 113 - 120; HIERREZUELO, J. y Colbs., *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la física y la química*, Ed. Laia MEC, Colección Cuadernos de Pedagogía 1989.

Desde mediados de los años 70 la detección de errores conceptuales relevantes ha dado lugar a una abundante literatura (4), Todos los campos de las ciencias han sido analizados: la Mecánica en primer lugar, en donde parece que se dan los errores más persistentes (5) pero también el Calor (6) la Electricidad (7), la Óptica (8), la Biología (9), la Geología (10) o la Química (11).

De la idea de “errores conceptuales” a la de preconcepciones

Las investigaciones sobre errores conceptuales condujeron muy rápidamente a distintos autores a verificar la hipótesis más plausible de la existencia en los niños de

(5) Ver: McDERMOTT, L.C., Research on conceptual understanding in mechanics. **Physics Today**, Julio 1984, págs 24 - 34; SEBASTIA, J. M., Fuerza y Movimiento: la interpretación de los estudiantes. **Enseñanza de las ciencias**, 2 (3), 1984, págs 161 - 169.

(6) Ver: MACEDO, B. y SOUSSAN, G., Estudio de los conocimientos preadquiridos sobre las nociones de calor y temperatura en alumnos de 11 a 15 años, **Enseñanza de las ciencias**, 3 (2), 1985, págs 21 a 25.

(7) Ver: VARELA, P. y Colab., Selección bibliográfica sobre esquemas alternativos de los estudiantes en electricidad. **Enseñanza de las ciencias**, 7 (3), 1989, págs 292 - 295.

(8) Ver: DE LA ROSA, C. y Colab., Common sense knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into properties of light. **European Journal of Science Education**, 6 (4), 1984, págs 387 - 397; VIENNOT, L. y CAMINSKY, M., Participation des maîtres aux modes de raisonnement des élèves, **Enseñanza de las ciencias**, 9 (1), 1991, págs 3 - 9.

(9) JIMÉNEZ, M. P., Preconceptos y esquemas conceptuales en Biología, **Enseñanza de las ciencias**, 9 (2), 1987.

(10) GRANDA, A., Esquemas conceptuales previos de los alumnos en Geología. **Enseñanza de las ciencias**, 6 (3), 1988, págs 239 - 243.

(11) FURIO, C., “Un currículum de química y física para EEMM basado en la investigación didáctica. Primeros resultados” **Actas de las IV Jornadas de la investigación en la Escuela**, Sevilla, 1986.

ideas sobre temas científicos previas al aprendizaje escolar y que fueron designadas como teorías ingenuas (12), ciencia de los niños (13), esquemas conceptuales alternativos (14), representaciones (15), etc, etc.

Conviene señalar que, aunque el interés por las pre-concepciones es reciente, existen precedentes que, con notable antelación, llamaron la atención sobre la “pre-historia del aprendizaje” (16) o se refirieron al hecho de que, a menudo, “se conoce contra un conocimiento anterior” (17). Y es necesario no olvidar tampoco los trabajos de Piaget (18), que plantean el rastreo del origen psicológico de las nociones hasta sus estadios pre-científicos, o de Ausubel (19), quien llega hasta afirmar: “si yo tuviera que reducir toda la psicología educativa a un sólo principio, enunciaría este: averigüese lo que el alumno ya sabe y enséñese consecuentemente”.

(12) CARRAMAZZA, A., McCLOSKEY, M. y GREEN, B., Naive beliefs in “sophisticated subjects”: misconceptions about trajectories of objects. Cognitions, 9, 1981, págs 117 - 123.

(13) GILBERT, J. K., OSBORNE, R. J. y FENSHMAN, P. J. , Childrens Science and its consequences for teaching. Science Education, 66 (4), 1982, págs. 623 - 633; OSBORNE y WITTRICK 1983, Op. cit.

(14) DRIVER, R. y EASLEY, J., Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. Studies in Science Education, vol 10, 1978, págs 37-70.

(15) GIORDAN, A., Interés didáctico de los errores de los alumnos Enseñanza de las ciencias, 3 (1), págs 11 - 17, 1985.

(16) VIGOTSKY, L. S., Aprendizaje y desarrollo intelectual en la edad escolar, Psicología y Pedagogía, Akal, Madrid, 1973.

(17) BACHELARD, G., La formation de l'esprit scientifique, Vrin, Paris, 1938.

(18) PIAGET, J., Psicología y Epistemología, Ariel, Barcelona, 1971.

(19) AUSUBEL, D. P., Psicología Educativa: Un punto de vista cognoscitivo, Trillas, Mexico, 1978.

La mayoría de los estudios, realizados en campos muy diversos, aunque muy particularmente en mecánica (20), coinciden básicamente en la caracterización de esos conocimientos previos:

—parecen dotados de cierta coherencia interna (de aquí que autores como Driver hablen de “esquemas conceptuales” y no de simples pre-concepciones aisladas (21)),

—son comunes a estudiantes de diferentes medios y edades,

—presentan cierta semejanza con concepciones que estuvieron vigentes a lo largo de la historia del pensamiento y

—son persistentes, es decir, no se modifican fácilmente mediante la enseñanza habitual, incluso reiterada. También la mayoría de los autores coinciden en considerar esas pre-concepciones como el fruto de las experiencias cotidianas de los niños, tanto de sus experiencias físicas (que están constantemente reforzando la idea de que los cuerpos más pesados caen más aprisa, o de que hace falta aplicar una fuerza para que un cuerpo se mueva, etc, etc), como de las sociales (a través, por ejemplo del lenguaje (22), que constituye la cristalización de un conocimiento pre-científico en el que calor y frío aparecen como sustancias o la palabra animal constituye un insulto). El carácter reiterado de estas experiencias explicaría, en parte,

(20) McDERMOTT 1984, Op cit.

(21) Ver: DRIVER, R., Psicología Cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. **Enseñanza de las ciencias**, 4 (1), 1986, págs 3-15.

(22) LLORENS, J. A., DE JAIME, Ma. C. y LLOPIS, R., La función del lenguaje en un enfoque constructivista del aprendizaje de las ciencias, **Enseñanza de las ciencias**, 7 (2), 1989, págs 111 - 119.

la persistencia y demás propiedades de las pre-concepciones (ser comunes a estudiantes de diferentes medios y edades, etc). Algunos autores, sin embargo, han defendido interpretaciones diferentes. Conviene detenerse en estudiar sus argumentos —compartidos intuitivamente por parte del profesorado— y profundizar así en el origen de esas pre-concepciones para fundamentar un posible tratamiento de las mismas que facilite la comprensión de los conocimientos científicos por los alumnos, evitando los “errores conceptuales”.

Nos referiremos en primer lugar a las tesis de McClelland, quien expresa toda una serie de reservas acerca de la existencia misma de esquemas conceptuales alternativos:

a) Suponer que los alumnos poseen esquemas conceptuales de una cierta coherencia significa atribuirles un comportamiento similar al de los científicos, ignorando la diferencia radical entre el pensamiento de los niños y el de los científicos.

b) Los fenómenos físicos no son lo suficientemente relevantes para la inmensa mayoría de los seres humanos y por tanto, no pueden ser objeto de la concentración y esfuerzo necesarios que precisa la construcción de esquemas teóricos.

c) Las respuestas de los niños a las cuestiones que se les plantean sobre los fenómenos físicos que forman parte de su experiencia, no son indicativos de la existencia de pre-concepciones, sino el resultado de un cierto imperativo social que les obliga a una “inatención estratégica”, es decir,

a dar una respuesta dedicándole el mínimo de atención necesaria para no chocar con el profesor.

d) Al suponer que el desarrollo histórico de las ideas científicas se reproduce en cada individuo, se subvalora gravemente la potencia y cohesión de las ideas de los adultos en cualquier sociedad humana y se olvidan las diferencias de contexto y de propósito entre el pensamiento adulto y el infantil.

No es difícil mostrar algunas insuficiencias en los argumentos de McClelland. En primer lugar, al imputar los errores conceptuales a una “inatención estratégica” de los alumnos y no a la existencia de verdaderas pre-concepciones, no tiene en cuenta que algunos de esos errores —particularmente en el dominio de la mecánica— no son sólo cometidos por niños, sino también por estudiantes universitarios e incluso por profesores en activo (23).

Es cierto que, como McClelland señala, la diferencia entre el pensamiento de los niños y el de los científicos es categórica y no de grado; pero lo mismo puede decirse acerca de las concepciones elaboradas por los pensadores de la antigua Grecia: son esencialmente diferentes de las ideas científicas. De hecho, las claras semejanzas entre las concepciones infantiles sobre el movimiento y el paradigma aristotélico —mostradas por los estudios de Piaget (24)

(23) CARRASCOSA, J. y GIL, D., La metodología de la superficilitat i l'apenentatge de les ciències. **Enseñanza de las ciencias**, 1985, 3 (2).

(24) PIAGET, J., 1971, Op. Cit.

sobre epistemología genética— no puede ser accidental, sino la consecuencia de una misma metodología, consistente en sacar conclusiones a partir de observaciones cualitativas no controladas, en extrapolar las “evidencias”, aceptándolas acríticamente (25). Esta es la forma de pensamiento que llevaba a Aristóteles a escribir: “Un peso dado cubre una cierta distancia en un tiempo dado, un peso mayor cubre la misma distancia en un tiempo menor, siendo los tiempos inversamente proporcionales a los pesos. Así, si un peso es doble de otro, tardará la mitad de tiempo en realizar un movimiento dado”. Y esta es la metodología que lleva a los alumnos (e incluso a estudiantes universitarios y profesores en formación) a afirmar que “un cuerpo con doble masa que otro caerá en la mitad de tiempo que este”. Podríamos así decir que la distinción entre el pensamiento infantil y el pensamiento pre-científico de los adultos es sólo de grado, no categórica: el paradigma aristotélico es, sin duda, más elaborado y coherente que los esquemas conceptuales de los alumnos, pero ambos se basan en “evidencias de sentido común” (26).

Quisiéramos señalar por último que, si bien los fenómenos físicos no son suficientemente relevantes para llevar a los alumnos a teorizar sobre ellos, no debemos olvidar que a lo largo de muchos años las experiencias coti-

(25) PIAGET, J., **Psicología y Pedagogía**, Ariel, Barcelona, 1969.

(26) GIL, D. y CARRASCOSA, J., Science learning as a conceptual methodological change. **European Journal of Science Education**, 7 (3), 1985, págs 231 - 236; HASHWEH, M. Z., Towards an explanation of conceptual change. **European Journal of Science Education**, 8 (3), 1986, págs 229 - 249.

dianas han impuesto inconscientemente una cierta visión del comportamiento de la materia (tendencia de los objetos al reposo, etc) muy similar a las concepciones aristotélicas. No se trata, pues, de teorización, sino de aceptación acrítica de lo que parece vidente.



Una postura diametralmente opuesta es la que sostiene Preece (27), quien para explicar la persistencia de las pre-concepciones avanza la hipótesis de que no son fruto de la experiencia, sino ideas innatas (lo que explicaría también su semejanza con las concepciones históricas). Dicha hipótesis, sin embargo, no tiene en cuenta que las ideas intuitivas de nuestros alumnos no son fácilmente adquiridas; por el contrario, son el resultado de un largo proceso basado en experiencias cotidianas en un cierto medio cultural. Y lo mismo puede decirse del paradigma aristotélico. De hecho, los alumnos muy jóvenes o las culturas muy primitivas no tienen la relativa coherencia de los esquemas conceptuales alternativos de los adolescentes o de la física pre-clásica. Por otra parte, el punto de vista innatista no da ninguna explicación acerca de cómo el paradigma aristotélico fue históricamente substituido, ni de que puede hacerse para ayudar a los alumnos a adquirir conceptos científicos que se oponen a las ideas innatas.

Podemos afirmar, en conclusión, que la existencia de esquemas conceptuales espontáneos es difícilmente

(27) PREECE, P.F., Intuitive Science: Learned or Triggered? **European Journal of Science Education**, 6 (1), 1984, págs 7 - 10.

cuestionable. Dichos esquemas tendrían en cierto modo la categoría de conocimientos pre-científicos, fruto de una epistemología del sentido común, próxima a la que explica la constitución de la física aristotélico-escolástica, vigente durante más de 20 siglos y cuyo desplazamiento por la física clásica no fue precisamente fácil. Tenemos aquí un primer elemento explicativo de la persistencia de las pre-concepciones. El segundo, que abordaremos a continuación, se refiere al tipo de enseñanza de las ciencias habitualmente impartida.

Una enseñanza de las ciencias inadecuada como causa de la persistencia de las pre-concepciones.

La existencia de pre-concepciones no puede por sí sola justificar los resultados tan negativos logrados por la enseñanza habitual en la comprensión de los conocimientos científicos por los alumnos. Una mínima aproximación a la historia de las ciencias basta para darse cuenta de que los conocimientos científicos no fueron construcciones ex nihilo sino que partieron de —y, a menudo, se enfrentaron con— concepciones pre-científicas de una cierta coherencia. La existencia de pre-concepciones —o, si se prefiere, de concepciones pre-científicas— fruto de experiencias reiteradas, era algo perfectamente esperable, con lo que había que contar. Algo que Bachelard (28) había ya señalado con toda claridad 50 años atrás: “Me ha sorprendido siempre que los profesores de ciencias, en mayor

(28) BACHELARD, G., 1938. Op. Cit.

medida, si cabe, que los otros, no comprendan que no se comprenda (...) No han reflexionado sobre el hecho de que el adolescente llega a la clase de física con conocimientos empíricos ya constituidos: se trata, pues, no de adquirir una cultura experimental, sino más bien de cambiar de cultura experimental, de derribar los obstáculos ya acumulados por la vida cotidiana”.

No sería, según esto, la existencia de pre-concepciones en sí lo que explicaría los mediocres resultados obtenidos en el aprendizaje de conceptos, sino esa “falta de comprensión” del profesorado que señala Bachelard, es decir, la propia enseñanza. Conviene detenerse, pues, en analizar la posible falta de adecuación de esa enseñanza para facilitar la adquisición de los conocimientos científicos.

Lo que hemos visto hasta aquí sobre las pre-concepciones incluye ya una primera crítica a la enseñanza habitual: su ignorancia de aquello que los alumnos ya conocen, la creencia de que basta transmitir los conocimientos científicos de forma clara y ordenada para que los alumnos los comprendan. La sorpresa general con que fueron recibidos los primeros resultados sobre “errores conceptuales” es ya un claro índice de que las estrategias de enseñanza no tenían en cuenta las concepciones iniciales de los alumnos. Esa ausencia de atención a lo que el alumno o alumna pueda pensar, a los obstáculos que esas pre-concepciones puedan representar, resulta muy evidente en los libros de texto, como han mostrado diversos análisis (29). Puede decirse, en efecto, que en la gran mayoría de los textos:

—no se incluyen actividades que permitan poner de manifiesto (directa o indirectamente) las posibles concepciones alternativas de los alumnos acerca de los temas estudiados;

—no se incluyen actividades ni se hacen referencias que lleven a analizar críticamente lo que dice el sentido común o la experiencia cotidiana acerca de los conceptos implicados;

—no se incluyen observaciones que llamen la atención sobre las ideas que históricamente han supuesto una barrera a la construcción de los conocimientos (y que podrían constituir también una barrera para el aprendizaje de los alumnos) en el dominio considerado;

—no se incluyen actividades para ver en qué medida se ha conseguido la comprensión real de los conceptos introducidos, en qué medida las concepciones pre-científicas han sido superadas.

Se han hecho también análisis de los errores conceptuales contenidos en los mismos textos (30): las “perlas” son innumerables llegando hasta títulos de capítulos como “Las fuerzas como causa del movimiento”. Pero más grave que esta transmisión directa de concepciones incorrectas - que tiene, sobre todo, un valor de síntoma- es la visión que se transmite del trabajo científico: los conceptos son introducidos sin referencia a los problemas que condujeron a su

(29) GENE, A., **Transformació dels treballs pràctics de Biologia: una proposta teòricament fonamentada**. Tesis doctoral. (Biblioteca de la facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona), Barcelona, 1986; CARRASCOSA, J., **Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias de los errores conceptuales**. Tesis Doctoral (Servei de Publicacions de la Universitat de Valencia), Valencia, 1987.

(30) CARRASCOSA 1987, Op. Cit.

construcción (31) ni detenerse en los conflictos de ideas que el tratamiento de esos problemas generó. No sólo se ignora así que el alumno no es una tabula rasa, sino que se trivializa el cambio de ideas que la construcción de los conocimientos científicos supone, llegando incluso a presentarlos como expresión del sentido común, cuando constituyen precisamente la ruptura con las evidencias de ese sentido común. Se olvida, en definitiva, que “las ciencias físicas y químicas, en su desarrollo contemporáneo, pueden caracterizarse epistemológicamente como dominios del pensamiento que rompen netamente con los conocimientos vulgares” (32).

Todo esto apunta, pues, a que una enseñanza que se limita a presentar los conocimientos elaborados, escondiendo todo el proceso que conduce a su elaboración, impide que los alumnos puedan hacer suyas las nuevas ideas, que sólo tienen sentido en la medida en que el tratamiento de determinados problemas exige su construcción (a menudo contra concepciones previas más o menos sólidas). ¿En qué medida estas críticas explican realmente las dificultades de los alumnos? Tan sólo si teniéndolas en cuenta se consiguen resultados netamente mejores podrán aceptarse como válidas. Constituyen tan sólo explicaciones tentativas que exigen, para ser contrastadas, la elaboración de estrategias de enseñanza basadas en las mismas y la constatación de que con ellas los resultados del aprendizaje son significativamente más positivos.

(31) OTERO, J., Assimilation problems in traditional representation of scientific knowledge, *European Journal of Science Education*, 7 (4), 1985, págs 361 - 369.

(32) BACHELARD 1938, Op. Cit.