

COMPRENSIÓN NEWTONIANA DE LA CAÍDA DE CUERPOS. UN ESTUDIO DE SU EVOLUCIÓN EN EL BACHILLERATO

ACEVEDO DÍAZ, J.A.

I.B. Alonso Sánchez de Huelva. Huelva.

SUMMARY

In this paper we show the various interpretations of the fall of solid bodies under different situations given by Spanish High School students and stress the need for a Conceptual Change through the methodological and attitudinal change from a constructivist outlook upon learning. We also put forward some considerations on the results obtained with respect to the pupils' sex difference and the fact that they had chosen scientific or humanistic studies.

INTRODUCCIÓN

La investigación didáctica de las interpretaciones de los estudiantes sobre los hechos científicos ha llevado a una concepción constructivista del aprendizaje (Driver 1988, Driver y Oldham 1986, Gil y Martínez Torregrosa 1987, Novak 1987, Strike 1987). Sin embargo, esta perspectiva, que es cada vez más mayoritaria, no está libre de críticas (Furió y Gil 1987), por lo que se hace imprescindible una amplia evaluación, cualitativa y cuantitativa, de las posibilidades que tiene una enseñanza de las ciencias con estas características, basada también en un cambio metodológico y actitudinal (Gil 1985, Gil y Carrascosa 1985), para intentar superar tanto las representaciones iniciales como la metodología de la superficialidad (Carrascosa y Gil 1985, Hashweh 1986).

Dentro del marco teórico señalado, la mecánica es, sin duda, el área de la Física que ha recibido una mayor atención (Mc Dermott 1984), entre otras razones por la gran persistencia que presentan las concepciones de los escolares en este campo, con la consiguiente resistencia a ser cambiadas. Uno de los tópicos de dicho dominio de conocimiento, que tiene bastante interés debido a sus dificultades conceptuales, es el de la caída de cuerpos en diversas situaciones (Carrascosa 1987, Pozo 1987a, Mc Closkey 1983, Whitaker 1983), cuya trascendencia se ve ratificada por las polémicas que originó en la historia del pensamiento científico (Piaget y García 1981).

En anteriores trabajos hemos analizado algunas de las dificultades, relacionadas con el pensamiento formal/concreto, que tienen los estudiantes de 2º de BUP para superar sus interpretaciones sobre fuerza y movimiento (Acevedo et al. 1987a y 1988), así como evaluado, para una pequeña muestra de sujetos, el grado y la per-

manencia del cambio conceptual logrado en función de un cambio metodológico en el trabajo de aula (Acevedo 1989). Este artículo pretende profundizar un poco más en esta dirección, mostrando cómo evolucionan las ideas de los/as alumnos/as sobre la caída de cuerpos, a través del Bachillerato, antes y un dilatado tiempo después de un curso diseñado con actividades de aprendizaje enmarcadas en la perspectiva constructivista señalada más arriba.

HIPÓTESIS Y DISEÑO DE TRABAJO

Las variables se han centrado en dos aspectos del sujeto que aprende: el grado de escolarización, incluyendo la diferenciación entre las opciones de Ciencias y Letras en el caso de COU, y su sexo. En relación con el tema y los planteamientos indicados se han formulado las siguientes hipótesis:

1. Las interpretaciones newtonianas de la caída de cuerpos serán prácticamente nulas en los cursos 1º, 2º y COU (Letras), no existiendo diferencias significativas entre ellos.
2. Los estudiantes de 3º (Ciencias) y COU (Ciencias) modifican sus concepciones de forma moderada en promedio, apareciendo interpretaciones acordes con el esquema conceptual newtoniano de manera que existirán diferencias relevantes a su favor en comparación con los de los otros cursos.
3. Entre los grupos de 3º (Ciencias) y COU (Ciencias) las diferencias no serán importantes, ya que en la programación de la asignatura de Física y Química de 3º de BUP no se ha incluido la mecánica de Newton.

4. Teniendo en cuenta que la muestra se refiere a adolescentes/jóvenes, existirán diferencias sensibles a favor de los alumnos frente a las alumnas (Mayer 1983).

La muestra del estudio ha sido de 158 estudiantes de Bachillerato (76 alumnos y 82 alumnas), de clase socioeconómica media/media-baja en su inmensa mayoría, de 1º BUP, 2º BUP, 3º BUP (Ciencias), COU (Letras) y COU (Ciencias), escolarizados en Huelva.

La tarea a resolver, que se pasó sin advertencia previa en los primeros días del curso 1988-89, con el fin de asegurar la no recepción de nuevas enseñanzas en el área considerada, consistió en una prueba abierta de papel y lápiz, con tres cuestiones, que no precisaban de la realización de cálculos, en las que hay que dibujar posiciones/trayectorias de móviles que caen, así como dar las explicaciones y aclaraciones verbales oportunas. Las preguntas han sido adaptadas de otros trabajos (Carrascosa 1987, Furió 1986, Pozo 1987a); haciendo referencia la primera de ellas a la caída de dos bolas de masas diferentes aunque de tamaños iguales. La segunda se centra en el movimiento de una canica que se desplaza rápidamente por una mesa y que, al llegar al extremo de la misma, cae al suelo. Finalmente, la última trata de la caída de un cuerpo pesado desde un avión que vuela paralelo al suelo, rectilíneamente y con velocidad uniforme.

En una primera fase se analizaron las respuestas escritas, completándose las mismas mediante entrevistas con pequeños grupos de estudiantes que daban respuestas muy similares. Luego se elaboró una tipología de éstas que se refrendó con lo mostrado en la bibliografía. Se identificaron las principales alternativas a la interpretación newtoniana, lo que permitió establecer unos criterios de puntuación que se utilizaron para asignar los diferentes niveles de comprensión de la mecánica de Newton en el ámbito de la caída de cuerpos. Asimismo se determinó el grado de relación entre las cuestiones propuestas, expresándolo por los correspondientes coeficientes de correlación.

Por último, cabe decir que el contraste estadístico de las hipótesis se ha hecho mediante diseños paramétricos y no-paramétricos, según los casos. Por ejemplo, el estudio de las diferencias entre cursos supuso un ANOVA y las correspondientes pruebas "t-protegidas" o LSD de Fischer (Least Significant Difference). Las diferencias entre sexos se han contrastado a partir de las pruebas "ji-cuadrado" y "t-Student", según se analicen por niveles o por puntuaciones, respectivamente. En todos los casos se ha tomado como nivel de confianza para la significación estadística un mínimo del 95% ($p \leq 0.05$).

DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE RESPUESTAS E IDEAS QUE SUBYACEN EN LAS MISMAS

Más abajo se describen esquemáticamente las tipologías de respuestas para cada cuestión. Aunque los casos propuestos en las preguntas segunda y tercera son for-

malmente similares, la última resulta bastante más compleja, por lo que hay más tipos de respuestas que en la otra. No obstante, debe señalarse que casi la mitad de las respuestas encontradas presentan la misma interpretación en ambos supuestos. En el mismo sentido, cabe destacar que la correlación conjunta de la prueba es significativa ($r = 0.49$; $p < 0.001$), mostrándose en la tabla I las correlaciones entre las cuestiones tomadas dos a dos.

Tabla I
Correlaciones entre las cuestiones de la tarea.

	CUESTION 1	CUESTION 2
CUESTION 2	0.29	
CUESTION 3	0.46 (*)	0.61 (*)
(*) $p < 0.001$		

Cuestión 1ª

Respuestas con relación a la influencia de la masa de las bolas:

- 1.A. La masa no influye en la caída, por lo que ambas bolas tardarán el mismo tiempo en caer.
- 1.B. La bola de masa doble tarda la mitad de tiempo en caer; esto es, la masa es inversamente proporcional al tiempo de caída.
- 1.C. No se indica ninguna relación cuantitativa, expresándose sólo que la bola de menor masa tardará más que la otra.

Respuestas con relación a la velocidad de caída:

- 1.1. La velocidad va aumentando en la caída, por lo que en la primera mitad de tiempo las bolas se habrán desplazado menos de la mitad de la distancia.
- 1.2. Las bolas recorrerán la mitad del camino en la mitad de tiempo, la cuarta parte en un cuarto de tiempo, etc., lo que equivale a afirmar que la velocidad de caída es constante.

Cuestión 2ª

Las respuestas encontradas son:

- 2.A. La caída es vertical, siendo la interpretación que la velocidad horizontal de la canica se anula en el momento en que empieza la velocidad vertical de caída.
- 2.B. La caída es en diagonal; es decir, la velocidad resultante es la composición de una velocidad horizontal y otra vertical, que permanecen constantes

durante el descenso. Se ignora, por tanto, que la velocidad vertical va aumentando.

- 2.C. En la caída se describe una curva no parabólica, finalizando frecuentemente en un tramo vertical más o menos largo, según la velocidad que llevara la bolita al llegar al extremo de la mesa. La interpretación es que la velocidad horizontal se gasta del todo/parcialmente, según fuera menor/mayor en el momento en que la canica inicia su caída. Por otra parte, la velocidad vertical podría aumentar o permanecer constante.
- 2.D. La trayectoria de la bolita en su caída es parabólica, permaneciendo constante la velocidad horizontal y aumentando uniformemente la vertical. Ambas componentes de la velocidad resultante son independientes.

Cuestión 3ª

Además de las respuestas mostradas en la cuestión anterior, hay que añadir las siguientes:

- 3.A. La caída puede ser un poco hacia adelante/atrás según el viento; si no lo hay, la caída es vertical.
- 3.B. La caída es en diagonal, pero hacia atrás como consecuencia del "viento contrario" (reacción) que origina el "impulso" del avión hacia adelante (acción).
- 3.C. Se completa lo expresado en 2.D diciendo que el avión se encontrará en la vertical del lugar donde el objeto impacta con el suelo en el mismo instante en que esto ocurre. Existe, por tanto, comprensión de la relatividad del movimiento.

Las principales ideas alternativas a la interpretación newtoniana, que fundamentan las respuestas erróneas descritas, se resumen en la tabla II. Se indican también las frecuencias relativas de las mismas, expresadas en tanto por ciento, para los grupos de Ciencias (3º y COU), para los Comunes (1º y 2º) y el de Letras (COU), asociados como "otros", y para el total de la muestra (T.M.).

TABLA II

Frecuencias relativas, expresadas porcentualmente, de las alternativas a la interpretación newtoniana de la caída de cuerpos.

ALTERNATIVAS	CIENCIAS	OTROS	TOTAL
1. Diferentes acciones sobre un móvil producen movimientos sucesivos.	22	66	42
2. Los dos movimientos del cuerpo que cae no son independientes porque corresponden a dos o más acciones.	54	63	59
3. Se considera la caída libre como si la velocidad fuera constante.	51	62	66
4. Los cuerpos más pesados caen más deprisa que los de menor masa.	36	66	65
5. El movimiento y el reposo son estados absolutos cualitativamente distintos.	64	100	93

CRITERIOS PARA ASIGNAR LOS NIVELES

Las dos primeras, de las cinco interpretaciones alternativas citadas anteriormente, se repiten en contextos diferentes (cuestiones segunda y tercera), por ello, como se ha dado un punto cada vez que se superaba cada alternativa, la puntuación máxima posible es siete. Sólo a partir de los cuatro puntos puede considerarse que las respuestas newtonianas empiezan a darse en cierto grado, por lo cual se han establecido los siguientes niveles:

- a) Nunca/casi nunca se dan interpretaciones newtonianas, siendo muy elementales las concepciones asociadas a las respuestas: nivel I (0/1 puntos).
- b) Las interpretaciones newtonianas aparecen raras veces o nunca, pero las respuestas se corresponden con ideas alternativas más complejas y evolucionadas que las del nivel anterior: nivel II (2/3 puntos).
- c) Se alternan las respuestas newtonianas con otras que no lo son. El grado de comprensión del esquema conceptual es moderado: nivel III (4/5 puntos).
- d) Siempre/prácticamente siempre se dan interpretaciones newtonianas. La comprensión de la teoría de Newton es grande: nivel IV (6/7 puntos).

RESUMEN DE RESULTADOS

Los diversos contrastes estadísticos de la hipótesis propuesta permiten establecer lo siguiente:

1. Únicamente hay diferencias significativas ($p < 0.001$) entre cualquiera de los cursos de ciencias y los demás. Este resultado permite hacer dos agrupaciones diferenciadas en la muestra: por una parte los grupos de Ciencias y, por otra, los Comunes y el de Letras. Para los/as de Ciencias, uno de cada tres sujetos se sitúa en el nivel III, y uno de cada cinco en el nivel IV. Se confirman, pues, plenamente las tres primeras hipótesis formuladas.

2. En cuanto a la diferencia entre sexos, ésta es significativa ($p < 0.001$) a favor de los estudiantes masculinos. De todos los grupos de varones, solamente los de 1º y 2º son superados de manera significativa por los grupos femeninos de ciencias únicamente. En cambio, cualquier grupo de alumnas llega a ser superado significativamente por uno o más grupos de alumnos. De esta manera queda confirmada también la cuarta hipótesis.

TABLA III

Frecuencias relativas, expresadas porcentualmente, de alumnos y alumnas en los diferentes niveles asignados.

NIVEL	COU-C		COU-L		3-BUP-C		2-BUP		1-BUP		TOTAL	
	K	F	K	F	K	F	K	F	K	F	K	F
IV	36	15	0	0	19	13	0	0	0	0	12	6
III	36	20	26	0	62	20	17	9	16	0	30	11
II	26	55	60	18	24	67	55	17	63	0	43	33
I	0	10	25	82	5	0	28	74	21	100	14	60

En la tabla III se muestran los porcentajes de estudiantes, diferenciados por cursos y sexos, que se sitúan en cada uno de los niveles de comprensión del esquema conceptual newtoniano.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La adquisición comprensiva de la interpretación newtoniana de la caída de cuerpos resulta conceptualmente difícil, posiblemente por el carácter contraintuitivo de la misma teoría (Pozo 1987c, Pozo y Carretero 1987, Sebastián 1987 a,b). Sin embargo, es alentador comprobar cómo una metodología adecuada, en 2º de BUP, puede permitir la obtención de resultados sustancialmente mejores, aunque moderados en promedio, para una buena parte de los/as alumnos/as de las opciones de Ciencias, permaneciendo las concepciones adecuadas hasta COU a pesar de no haberse incluido la mecánica en la programación de Física y Química de 3º de BUP. Es muy probable, también, que una profundización adecuada en dicha área de la Física, en COU, permita hacer más satisfactoria aún la situación mostrada, siempre que la metodología y las actitudes sean las adecuadas. Lo que reflejan los datos obtenidos supone una visión menos pesimista que la presentada en una buena parte de la bibliografía sobre el tema (Pozo 1987 a,b, Sebastián 1984, 1985), siendo, por otra parte, concordantes con los que algunos autores han mostrado cuando utilizan modelos de enseñanza-aprendizaje que pretendían el cambio conceptual a través del cambio metodológico (Acevedo 1989, Carrascosa 1987, Furió 1986, Hierrezuelo y Molina 1988).

En cambio, es decepcionante, aunque no sorprendente, el bajo nivel de asimilación que tienen de la interpretación newtoniana los estudiantes de Letras de COU, a pesar de haber recibido la misma calidad y cantidad de enseñanza que los de Ciencias en las cuestiones aquí tratadas, por lo menos hasta el momento en que realizaron la prueba. Este pobre resultado parece resaltar la importancia que, junto al cambio metodológico, presentan los aspectos actitudinales relacionados con la motivación intrínseca en el aprendizaje, los cuales podrían estar relacionados a su vez con otros de carácter psicológico, sociocognitivo, educativo, etc., que no vamos a discutir aquí. Estos alumnos y alumnas permanecen en niveles similares a los que alcanzan los escolares de 1º y 2º de BUP, cuyas enseñanzas en mecánica toman como referencia básica los estudios de EGB.

Por otra parte, los niveles más bajos de la población estudiantil femenina, en comparación con los de la masculina, coinciden con algunos otros datos que aparecen señalados en la literatura psicopedagógica sobre la enseñanza de las Matemáticas y de la Física (Aceve-

do et al. 1987 b, Benbow y Stanley 1980 y 1983, Erickson y Erickson 1984, Pattison y Gruieve 1984; Tourniaire y Pulos 1985). Una interpretación, frecuentemente esgrimida, es la de la hipótesis social sobre las diferencias educativas de los niños y las niñas, tanto en el ámbito escolar como en el familiar, lo que, sin duda, incide en el interés y las actitudes hacia las Ciencias (Escudero 1985, Harding 1985, Kelly 1986). Relacionado con la hipótesis anterior se encuentra el hecho, citado por Novak y Gowin (1984), de que las mujeres aceptan en mayor medida que los hombres los patrones de aprendizaje memorístico que caracterizan una buena parte del aprendizaje escolar, mientras que los segundos parecen usar más frecuentemente estrategias relacionadas con un aprendizaje más significativo, las cuales son imprescindibles para la comprensión conceptual y la resolución de problemas en aquellas materias que, como la Física y las Matemáticas, presentan una estructura organizativa de los conceptos fuertemente jerarquizada. Otra hipótesis a considerar podría ser también la mayor tendencia de las mujeres a guiarse por el pensamiento intuitivo, forma de actuación que, si bien puede ser positiva en ciertos momentos del aprendizaje, por ejemplo, en los inicios de la resolución de problemas, generalizada acriticamente puede llegar a constituir un verdadero obstáculo epistemológico para la adquisición/comprensión de conocimientos que, como las ideas de la mecánica de Newton, resultan escasamente intuitivos.

En definitiva, más de trescientos años después de la publicación de los *Principia de Newton*, continúa siendo un reto para los profesores de Física que los estudiantes se impregnen de las principales ideas del físico que revolucionó la Ciencia de la Mecánica. Aunque las causas son múltiples y complejas, sin embargo, la investigación en didáctica de las ciencias nos permite actualmente conocer mucho mejor algunas de la dificultades que tienen los escolares a la hora de comprender y asimilar el esquema conceptual newtoniano. También disponemos de algunas líneas prometedoras para la actuación en el aula, desde una perspectiva constructivista del proceso de enseñanza-aprendizaje, partiendo de las ideas que ya poseen los estudiantes, explicitándolas y tomándolas en consideración en la etapa de construcción de los conocimientos, a través de un cambio metodológico que favorezca actitudes de análisis y reflexión crítica de los trabajos prácticos, la resolución de problemas y, en general, las actividades de los/as alumnos/as, con una orientación plasmada en programas-guía para el aula. De esta manera, quizás resulte posible el cambio conceptual que debe perseguir la enseñanza de las ciencias, lo que en este caso significa que, de una vez por todas, Newton empiece a ser mejor y más ampliamente comprendido en nuestros Institutos de Bachillerato.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, J.A., 1989. Res permanentes? Comunicación presentada al III Congreso Intenacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas. (Santiago de Compostela).

ACEVEDO, J.A., BOLÍVAR, J.P., LÓPEZ-MOLINA, E.J. y TRUJILLO, M., 1988. Sobre las concepciones en dinámica elemental de los adolescentes formales y concretos y el cambio metodológico. *Enseñanza de las Ciencias* (e.p.)

INVESTIGACIÓN Y EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS

- ACEVEDO, J.A., BOLÍVAR, J.P., SÁNCHEZ-LAULHE, E. y TRUJILLO, M., 1987a. Evolución de los esquemas conceptuales de dinámica en adolescentes formales y concretos. *Actas V Jornadas de Estudio sobre la Investigación en la Escuela*. (Sevilla), pp. 77-79.
- ACEVEDO, J.A. BOLÍVAR, J.P., SÁNCHEZ-LAULHE, E. y TRUJILLO, M., 1987b. Razonamiento proporcional múltiple: la tarea del "Arquitecto". *Actas V Jornadas de Estudio sobre la Investigación en la Escuela*. (Sevilla), pp. 80-83.
- BENBOW, C.P. y STANLEY, J.C., 1980. Sex differences in mathematics abilities: Fact or artifact? *Science*, pp. 210, 1262-1264.
- BENBOW, C.P. y STANLEY, J.C., 1983. Sex differences in mathematics abilities: More facts. *Science*, 222, pp. 1029-1031.
- CARRASCOSA, J., 1987. *Tratamiento didáctico en la enseñanza de las ciencias de los errores conceptuales*. Tesis doctoral no publicada. (Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Valencia).
- CARRASCOSA, J. y GIL, D., 1985. La "metodología de la superficialitat" i l'aprenentatge de les ciències. *Ensenyanza de las Ciencias*, 3(2), pp. 113-120.
- DRIVER, R., 1988. Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), pp. 109-120.
- DRIVER, R. y OLDFHAM, V., 1986. A constructivist approach to curriculum development in Science. *Studies in Science Education*, 13, pp. 105-122.
- ERICKSON, G. y ERICKSON, L., 1984. Females and Science achievement: evidence, explanations and implications. *Science Education*, 68(2), pp. 63-89.
- ESCUADERO, T., 1985. Las actitudes en la enseñanza de las ciencias: un panorama complejo. *Revista de Educación*, 278, pp. 5-25.
- FURIÓ, C., 1986. Un currículo de Física y Química para Enseñanza Medias basado en la Investigación Didáctica: Primeros resultados. *Actas IV Jornadas de Estudio sobre la Investigación en la Escuela*. (Sevilla), pp. 321-328.
- FURIÓ, C. y GIL, D., 1987. Una crítica fundamental a los modelos constructivistas del aprendizaje. *Actas V Jornadas de Estudio sobre la Investigación en la Escuela*. (Sevilla), pp. 11-14.
- GIL, D., 1985. El futuro de la enseñanza de las ciencias: algunas implicaciones de la investigación educativa. *Revista de Educación*, 278, pp. 27-38.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J., 1985. Science learning as a Conceptual and Methodological Change. *European Journal of Science Education*, 7(3), pp. 231-236.
- GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., 1987. Los programas-guía de actividades: una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 3, pp. 3-12.
- HARDING, J., 1985. Las jóvenes y las mujeres en la enseñanza científica secundaria y superior: son pocas las elegidas. *Perspectivas*, 15(4), pp. 591-603.
- HASHWEH, M.Z., 1986. Towards an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), pp. 229-249.
- HIERREZUELO, J. y MOLINA, E., 1988. La influencia de las ideas previas en el proceso enseñanza-aprendizaje. Un ejemplo: la formación del concepto de fuerza en 2º de BUP. *Investigación en la Escuela*, 4, pp. 49-57.
- KELLY, A., 1986. The development of girls and boys' attitudes to Science: a longitudinal study. *European Journal of Science Education*, 8(4), pp. 399-412.
- MAYER, R.E., 1983. *Thinking, Problem Solving, Cognition*. (Freeman: New York). Traducción castellana de G. Baravelle (1986): *Pensamiento, resolución de problemas y cognición*. (Paidós: Barcelona).
- MC CLOSKEY, M., 1983. Intuitive Physics. *Scientific American*, 248(4), pp. 122-130.
- MC DERMOTT, L.C., 1984. Critical Review of Research in the Domain of Mechanics. *Research on Physics Education*. (Editions du C.N.R.S.: Paris), pp. 139-182.
- NOVAK, J.D., 1987. Human Constructivism: Towards a unity of psychological and epistemological meaning making. Second International Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. (Cornell University: Ithaca, New York).
- NOVAK, J.D. y GOWIN, D.B., 1984. *Learning how to Learn*. (Cambridge, University Press: Cambridge). Traducción castellana de J.M. Campanario y E. Campanario (1988): *Aprendiendo a aprender*. (Martínez Roca: Barcelona).
- PATTISON, P. y GRUIEVE, N., 1984. Do spatial skills contribute to sex differences in different types of mathematical problems? *Journal of Educational Psychology*, 76(4), pp. 678-679.
- PIAGET, J. y GARCÍA, R., 1981. *Psychogenese et histoire des sciences*. (P.U.F: París). Traducción castellana de P. Pinero (1982): *Psicogénesis e historia de la ciencia*. (Siglo XXI: México).
- POZO, J.I., 1987a. *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. (Visor: Madrid).
- POZO, J.I., 1987b. La historia se repite: las concepciones espontáneas sobre el movimiento y la gravedad. *Infancia y Aprendizaje*, 38, pp. 69-87.
- POZO, J.I., 1987c. Y, sin embargo, se puede enseñar ciencia. *Infancia y Aprendizaje*, 38, pp. 109-113.
- POZO, J.I. y CARRETERO, M., 1987. Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿qué cambia en la enseñanza de la ciencia? *Infancia y Aprendizaje*, 38, pp. 35-52.
- SEBASTIÁ, J.M., 1984. Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 2(3), pp. 161-169.
- SEBASTIÁ, J.M., 1985. Interpretaciones espontáneas de la dinámica del movimiento. *I Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas*. (Barcelona). *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra.

- SEBASTIÁ, J.M., 1987 a. Cognitive constraints and spontaneous interpretations in Physics. *Second International Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. (Cornell University: Ithaca, New York).
- SEBASTIÁ, J.M., 1987b. ¿Es realmente posible el cambio conceptual? *II Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas*. (Valencia). *Enseñanza de las Ciencias*, nº extra.
- STRIKE, K.A., 1987. On what there is to mean by constructivism. *Second International Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. (Cornell University: Ithaca, New York).
- TOURNIAIRE, F. y PULOS, S., 1985. Proportional reasoning: a review of the literature. *Educational Studies in Mathematics*, 16, pp. 181-204.
- WHITAKER, R.J., 1983. Aristotle is not dead: Students understanding of trajectory motion. *American Journal of Physics*, 51(4), pp. 352-357.