

ESTUDIO DE LA PROGRESIÓN EN LA DELIMITACIÓN DE LAS «IDEAS» DEL ALUMNO SOBRE FUERZA

JIMÉNEZ GÓMEZ, E.¹, SOLANO, I.¹ y MARÍN, N.²

¹ Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Murcia.

² Departamento de Didáctica. Universidad de Almería.

SUMMARY

The aim of this paper is to analyse if there has been any progress in the results that different papers about learners' «ideas» have shown in Dynamics. To that end, a wide sample of papers about «pupils' knowledge» concerning the concept of force has been chosen and a set of categories has been established in order to set up the criteria that allow us to compare the information presented in those papers.

INTRODUCCIÓN

El constructivismo, como método de enseñar ciencia, fundamenta su estrategia didáctica en el supuesto de que el alumno adquiera los contenidos objeto de enseñanza mediante una construcción activa a partir de «lo que sabe». No obstante, existen diversos modos de entender, averiguar y conceptualizar lo que entienden los investigadores y educadores por estos términos (Gómez et al., 1992).

Bajo «lo que el alumno sabe» subyacen términos, metodologías y marcos teóricos diferentes (Hashweh, 1988). Esta situación fue calificada hace ya más de diez años por Gilbert y Swift (1985) de fase «preparadigmática», por analogía con la descripción de Kuhn (1981) de los cambios científicos. En efecto, en esta fase, las distintas propuestas sobre «lo que el alumno sabe» han estado poco coordinadas, así: la metodología de investigación no es compartida, los objetivos últimos no están defini-

dos, las implicaciones en el aula tampoco han sido coordinadas y la terminología no ha sido consensuada (Jiménez Gómez, Solano y Marín, 1994).

Un análisis lakatosiano realizado por Gilbert y Swift (1985), comparando las aportaciones de la teoría de Piaget con las realizadas por el «movimiento de las concepciones alternativas» (MCA), llega a concluir que la teoría piagetiana estaba en periodo regresivo, mientras que el MCA presentaba indicios de cierta progresión.

Según Lakatos (1974 y 1983), el principal criterio para determinar si una teoría es progresiva es a través de su capacidad de predecir hechos nuevos; es decir, su desarrollo teórico anticipa su desarrollo empírico. Este criterio sólo es válido si se utiliza para comparar programas de investigación en competencia, razón por la cual

Gilbert y Swift lo aplican con las dos tendencias mencionadas. Sin embargo, Marín y Benarroch (1994) mostraron, comparando las aportaciones empíricas sobre concepciones en mecánica y naturaleza corpuscular de la materia, que no está claro que las aportaciones del MCA superen las piagetianas, lo que pondría en entredicho la supuesta progresividad del MCA.

Siguiendo esta línea, en este trabajo se va a utilizar sólo uno de los requisitos lakatosianos de progresión, que se puede considerar como el menos exigente: «la teoría debe aportar nuevos datos empíricos de manera progresiva». De aquí, que se comparen las aportaciones empíricas de los distintos trabajos que han abordado el problema de delimitar las «ideas» que poseen los alumnos sobre el concepto de *fuerza*, con el fin de analizar si ha habido progresión en dicha delimitación. Así, si se ha producido una cierta progresión en el entramado teórico del MCA, se debería apreciar también en los datos que aportan los distintos trabajos realizados sobre «ideas» de los alumnos a lo largo de los años.

SELECCIÓN DE TRABAJOS PUBLICADOS

El principal objetivo de este trabajo consiste en mostrar si las publicaciones más recientes sobre «ideas» de los alumnos en dinámica aportan nuevos datos no contenidos en otras realizadas con anterioridad.

Para conseguir el anterior objetivo se han llevado a cabo los siguientes pasos:

a) Selección de un contenido para el que se hayan realizado un buen número de trabajos sobre «ideas» espontáneas de los alumnos.

b) Elección de una muestra de trabajos representativos de los periodos a cubrir (antes y después de 1985, fecha de publicación de los trabajos de Gilbert y Swift), que permitan poner de manifiesto si ha existido progresión en la delimitación de las «ideas» de los alumnos.

c) Establecer criterios que permitan comparar los datos aportados por los diferentes trabajos publicados.

Selección de un contenido

Con el fin de acotar el elevado número de trabajos realizados sobre las «ideas» que tienen los alumnos sobre ciencias (Carmichael et al., 1990; Confrey, 1990), se optó por elegir la mecánica, por ser la fenomenología donde los alumnos han desarrollado el mayor número de esquemas espontáneos y donde más trabajos se han publicado.

El número de trabajos realizados en mecánica resultó ser excesivo, por lo que se seleccionaron sólo aquellos artículos que han abordado principalmente nociones ligadas al concepto de *fuerza*. De esta manera, la fuerza y conceptos con ella relacionados constituyen el conte-

nido académico objeto de la investigación, pues sobre dicho contenido existe un número de trabajos publicados con anterioridad y posteridad al 1985 suficientes para cubrir las pretensiones del trabajo.

Elección de una muestra de trabajos representativos de los periodos a cubrir

Otro de los problemas es la selección de los trabajos que fuesen representativos de la investigación realizada sobre «ideas» de los alumnos relacionadas con el concepto de *fuerza* y que además permitiesen realizar el estudio de progresión en la delimitación «de lo que el alumno sabe» (Jiménez Gómez, Solano y Marín, 1994). Una dificultad añadida es que la mayoría de los trabajos están publicados en actas de congresos, reuniones o encuentros que son difíciles de obtener. De aquí, que se optara por seleccionar sólo aquéllos que hubiesen sido publicados en revistas de ámbito exclusivo de la enseñanza de las ciencias. No obstante, el número de revistas es elevado, por lo que se seleccionaron las siguientes, ordenadas alfabéticamente, que resultaron accesibles para nosotros y porque pensamos que cubren el objetivo de este trabajo:

1. *Enseñanza de las Ciencias* (1983-1985). El primer número apareció en 1983).
2. *European Journal of Science Education*, hoy *International Journal of Science Education* (1979-1995). El primer número que se ha conseguido es del año 1979).
3. *Physics Education* (1975-1995).
4. *Science Education* (1975-1995).

Una vez seleccionadas las revistas, se ha fijado el periodo de revisión de publicaciones desde el 1979, año en que aparece el trabajo de Viennot, hasta el momento actual.

Para solucionar el problema de fijar un año para establecer los periodos a comparar se ha creído oportuno elegir el año 1985. Por un lado, porque es el año en que se publica el trabajo de Gilbert y Swift y, por otro, porque se pudo apreciar que existe una distribución análoga de trabajos en el periodo anterior y posterior al año seleccionado. La clasificación de los trabajos en los dos periodos, antes y después de 1985, permite hacer comparaciones entre ambos grupos y observar si se ha producido progresión en la delimitación de las «ideas» de los alumnos, si bien, como se puede apreciar en las tablas I, III, IV y V, la mayoría de las comparaciones se han establecido en un continuo temporal, ordenando los trabajos por el año de publicación.

En total se han seleccionado veintinueve artículos, once que corresponden al periodo 1979-85 y dieciocho al 1985-95. Pensamos que son los trabajos más significativos, aunque pudiera faltar alguno debido a que han utilizado palabras claves que no evoquen bien su conte-

nido o porque su temática, aunque tenga cierta relación con el concepto de *fuera*, no se han considerado de interés. Se han excluido también aquellas publicaciones de índole exclusivamente teórica, aunque hiciesen en algún momento referencia a «ideas» de los alumnos sobre el concepto de *fuera*.

Los artículos seleccionados, ordenados por orden cronológico de publicación, aparecen en la tabla I, donde también se exponen las pretensiones de cada uno de ellos, la muestra utilizada y la técnica de recogida de datos.

Criterios de comparación

Observando la tabla I se puede apreciar la diversidad de pretensiones u objetivos de los diferentes trabajos, muestras y técnicas de recogida de datos (se presentan unas doce maneras diferentes de obtener datos). Esta heterogeneidad dejó entrever la dificultad de realizar estudios comparativos y, sobre todo, la necesidad de hacer agrupamientos en función de semejanzas y diferencias del tipo de aportaciones sobre «lo que el alumno sabe».

Del análisis de la tabla I, del tratamiento que los diferentes autores hacen de los datos (por falta de espacio no se presentan) y de los resultados que ofrecen (algunos de los cuales se exponen en las tablas III, IV y V), se deduce que para unos «lo que el alumno sabe» acerca del concepto de *fuera* son las explicaciones que realizan los alumnos sobre un determinado hecho físico, mientras que para otros son explicaciones o razonamientos independientes de los hechos físicos presentados. Por último cabría indicar que otros autores tienen en cuenta las explicaciones o razonamientos dependientes o independientes de los hechos físicos y además, por provenir dichas explicaciones o razonamientos de la estructura cognoscitiva del sujeto, establecen relaciones con variables de tipo cognitivo.

Lo anterior ha permitido establecer tres tipos de categorías que responden, en una primera aproximación, al modo en que los diferentes educadores o investigadores seleccionados conceptualizan las investigaciones referidas a «lo que el alumno sabe» sobre el concepto de *fuera*. Así, se han establecido tres categorías, según que los trabajos:

1. Identifiquen y describan las respuestas de los alumnos y las agrupen por semejanzas o diferencias entre ellas, expresando los resultados mediante porcentajes de alumnos que han respondido de una manera u otra. Los resultados y conclusiones están ligados a las particularidades de los hechos físicos presentados en el cuestionario; a este grupo de trabajos, los hemos denominado *descriptivos dependientes de los hechos físicos*, y con estos términos se hará referencia más adelante a esta categoría.

2. Después de identificar y describir las respuestas de los alumnos, establezcan relaciones entre dichas respuestas referentes a las distintas preguntas realizadas y a los

hechos físicos presentados. El grado de generalidad de las conclusiones a las que se llegan hace que los resultados que se ofrecen no estén ligados a dichos hechos e, incluso, algunos autores pueden predecir posibles respuestas de los alumnos a situaciones no presentadas en el cuestionario. La abstracción de los datos se hace desde la lógica del contenido objeto de búsqueda; en nuestro caso, los relacionados con el concepto de *fuera*, su evolución histórica y con los conceptos con ella relacionados. Nos referiremos a los trabajos que están dentro de esta categoría con los términos *descriptivos independientes de los hechos físicos*.

3. Relacionen las respuestas obtenidas por los alumnos con otros factores o aspectos cognitivos que han mostrado ser relevantes, como el nivel cognoscitivo, el estilo cognitivo, la memoria a corto y largo plazo, las operaciones mentales, etc. A estos trabajos les denominaremos *descriptivos relacionales*, en la medida que no establecen sus relaciones con otros factores cognoscitivos utilizando el contexto teórico en los que fueron establecidos dichos factores, sino tan sólo utilizando técnicas de estadística descriptiva.

En la tabla II se presentan las tres categorías establecidas en las que se pueden distribuir todos los trabajos seleccionados sobre dinámica. Las categorías y la clasificación de los diferentes trabajos se han realizado a partir del análisis de las pretensiones u objetivos, tratamiento de los datos y resultados ofrecidos en cada una de las publicaciones seleccionadas.

Esta categorización permite comparar datos entre los diferentes autores que están clasificados dentro de cada una de ellas, pero la diversidad de situaciones físicas presentadas para obtener información del alumno da lugar a una gran variedad de resultados que dificulta tal comparación. Por ello, se ha tomado finalmente como referente para hacer dichas comparaciones las situaciones físicas utilizadas en los cuestionarios, que responden en su mayoría a:

1. Equilibrio estático.
2. Lanzamiento hacia arriba o caída de objetos.
3. Desplazamiento de objetos en un plano horizontal.
4. Interacciones en movimiento relativo.
5. Colisiones.

En este trabajo, por razones de espacio, se han elegido aquellos hechos que responden a las situaciones físicas de lanzamiento hacia arriba o caída de objetos, por ser utilizadas por la mayoría de los trabajos seleccionados (21 de los 29 seleccionados) y porque se pueden realizar, en dichas situaciones, las comparaciones más significativas.

Las comparaciones entre los trabajos descriptivos relacionales se han realizado entre todos ellos, independientemente de las situaciones físicas presentadas, pues es posible dicha comparación al ser escaso el número de trabajos clasificados dentro de esta categoría.

Tabla I
Trabajos seleccionados.

Autor y año	Pretensiones u objetivos del trabajo	Muestra	Técnica de recogida de datos
Viennot, 1979	Explorar y analizar el razonamiento espontáneo de estudiantes sobre dinámica elemental.	Varios cientos de estudiantes principalmente franceses, ingleses y belgas. La descripción que realiza de la muestra es poco explícita.	Test de papel y lápiz con cuestiones abiertas sobre situaciones físicas.
Helm, 1980	Obtener información cuantitativa de cómo de extendidas estaban una serie de conceptos erróneos o ideas falsas en física.	El test original fue aplicado a estudiantes de física universitarios de primer año en Sudáfrica. Después: a 334 estudiantes de ciencias físicas de niveles equivalentes al 0-level y A-level de escuelas blancas, a 126 de escuelas públicas del mismo nivel y a 65 profesores.	Test de cuestiones de elección múltiple donde entre las opciones de respuesta se encontraban conceptos erróneos comunes o sospechados.
Watts, y Zylbersztajn, 1981	Conocer: a) la comprensión de los alumnos acerca de la teoría de Newton y en qué medida los profesores eran conscientes de ello; b) si los esquemas alternativos descritos en las publicaciones eran compartidos por sus alumnos.	125 alumnos de <i>comprehensive schools</i> y sus 5 profesores.	Cuestionario con formato de elección múltiple. Al final de cada cuestión se dejaba un espacio donde se pedía al alumno incluir una razón para su respuesta.
Gunstone y White, 1981	Evaluar el nivel de comprensión de los alumnos acerca del concepto de <i>gravedad</i> y de los principios de la mecánica.	Estudiantes de física de 1º de universidad.	Pruebas de papel y lápiz con demostraciones. Se pedía al alumno que escribiesen sobre sus predicciones, observaciones y que las comparase.
Watts, 1982	Describir los esquemas conceptuales alternativos de los niños sobre <i>gravedad</i> . Proporcionar a los profesores rápidas y útiles formas de penetrar en el pensamiento de los niños.	20 alumnos de 1º a 6º de escuelas secundarias de Londres entre 12 y 17 años.	Entrevistas personales de cuarenta minutos utilizando tarjetas con dibujos de líneas simples que representan diversas situaciones donde el concepto de <i>fuerza</i> es posible o no aplicarlo.
Selman y otros, 1982	Comprobar la siguiente hipótesis: Existe una estructura general paralela entre el razonamiento lógico-matemático y la comprensión de conceptos de ciencias, no siendo ninguno de los dos dominios un prerrequisito para el desarrollo del otro.	Fase constructiva: 50 niños de primaria y 10 de <i>high school</i> . Fase de validación: 105 sujetos en edades comprendidas entre 3 y 9 años.	Entrevista clínica con algunas demostraciones.
Watts, 1983	Describir las concepciones de los más jóvenes sobre <i>fuerza</i> .	20 alumnos entre 11 y 18 años del área urbana de Londres (<i>junior</i> y <i>advanced</i>).	Entrevistas sobre ejemplos (dibujos esquemáticos).
Maloney, 1984	Investigar el conocimiento estratégico de los sujetos al determinar cómo los individuos se ocupan de tareas específicas.	112 estudiantes de <i>high schools</i> .	Tests de elección múltiple. Una vez completado el cuestionario, se les pedía escribir una explicación.
Ivowi, 1984	Estudiar la extensión en que se dan una serie de errores conceptuales en física entre los estudiantes de escuela secundaria y entre sus profesores que permitan sugerir posibles causas y soluciones.	258 estudiantes de quinto curso (15-17 años) de ocho escuelas secundarias de Nigeria. 10 profesores de física de esas escuelas.	Test de lápiz y papel con ítems de elección múltiple (las opciones para cada cuestión contenían algunos errores de concepto conocidos o sospechados).

Tabla I
Trabajos seleccionados. (Continuación).

Ruggiero y otros, 1985	Encontrar «esquemas espontáneos» que muestren la relación entre peso, aire y gravedad.	Utiliza tres muestras: a) 22 alumnos en el último año de una escuela media italiana (12-13 años), b) 8 alumnos de los anteriores. c) 40 alumnos de la misma escuela.	Cuestiones abiertas de lápiz y papel que se proponían oralmente después de una demostración o que iban acompañadas de un dibujo aclaratorio.
Terry y otros, 1985.	Averiguar qué comprenden los niños sobre fuerzas y equilibrio estático. Buscar estrategias de enseñanza.	Alumnos de <i>comprehensive schools</i> : N= 57 (3º): No habían recibido instrucción sobre la 1ª ni la 3ª ley de Newton. N=46 (4º): se les había introducido en la 1ª y la 2ª ley. N=55 (5º): habían recibido instrucción sobre las tres leyes de Newton.	Pruebas de lápiz y papel donde se presentan diagramas.
Terry y Jones, 1986	Investigar algunas de las dificultades conceptuales que encuentran los estudiantes con la tercera ley de Newton y examinar las implicaciones que tengan para llevar a un cambio en su comprensión global del concepto de <i>fuerza</i> .	39 alumnos de 16 años que recientemente habían completado un curso de física de nivel 0.	Presenta a los alumnos dibujos que representan situaciones físicas y les pide interpretarlas en términos de la tercera ley de Newton.
Noce y otros, 1988	Investigar si se pueden generalizar los esquemas propuestos por Ruggiero (1985) extendiendo la investigación a otros niveles de edad tales como adultos y niños de escuela primaria.	a) 224 estudiantes de escuela secundaria, b) 64 estudiantes universitarios de primer año de biología, c) 74 adultos no expertos en física, d) 88 niños de 5º curso de escuela primaria, e) 10 niños entre 8-12 años.	Cuestionario de lápiz y papel con preguntas abiertas. En el caso de la muestra e, utiliza además entrevista clínica en la que se usan fotografías.
Clement, 1989	Proponer alguna organización teórica y definiciones observacionales del constructo anclaje. Presentar algunos hallazgos para descubrir anclajes en la instrucción de la física.	137 estudiantes de <i>high school</i> de 14, 15 y 17 años.	Test con 14 cuestiones de elección múltiple en cada una de las cuales también se pedía al alumno que indicara el grado de confianza en su respuesta mediante un número en una escala que va del cero (suposición ciega) a tres (completamente seguro).
Bar, 1989	Probar la capacidad de los niños para comparar fuerzas y sugerir un procedimiento para enseñar mecánica a nivel de escuela elemental.	120 alumnos de escuela primaria entre 6-11 años.	Test individual oral que consta de doce problemas de demostración.
Brown, 1989	Aportar argumentos que apoyen la existencia de una creencia ingenua general de fuerza como una propiedad innata o adquirida de los objetos. No se pretende obtener una lista de concepciones.	a) 5 estudiantes de <i>high school</i> que no habían estudiado física, b) 21 estudiantes de <i>high school</i> , c) 78 estudiantes de <i>high school</i> procedentes de siete clases de física.	a) Entrevistas orales de preguntas abiertas. b) Entrevistas con materiales escritos. c) Test de elección múltiple con seis problemas antes y después de la instrucción.
Acevedo y otros, 1989	Investigar las ideas previas de los alumnos en dinámica, selección de material de aprendizaje y evaluar los resultados de la enseñanza.	65 estudiantes de 2º de BUP (entre 15 y 18 años).	Fase exploratoria: prueba abierta donde los alumnos tienen que completar un dibujo y dar una explicación, primero individualmente y después en pequeños grupos. Fase de evaluación: prueba individual similar a la inicial.

Tabla I
Trabajos seleccionados. (Continuación).

Boeha, 1990	Recoger algunas visiones de los estudiantes parecidas a las aristotélicas en situaciones que implican el concepto de <i>fuerza</i> .	126 estudiantes de física de grado 12 (17-18 años) elegidos al azar de una <i>high school</i> en Papua Nueva Guinea.	Forma parte de un estudio más amplio. Se utilizaron entrevistas individuales y test de lápiz y papel (entrevista sobre ejemplos).
Villani y Pacca, 1990	Conocer la manera de pensar los procesos físicos que ocurren en las colisiones.	Estudiantes de postgrado o doctorado en física teórica (56 en la primera parte y 59 en la segunda).	Entrevistas individuales en las que se proponen problemas cualitativos.
Finegold y Gorsky, 1991	Determinar el porcentaje de estudiantes que son consecuentes con sus creencias sobre las fuerzas que actúan sobre objetos en reposo y en movimiento, y que aplican consistentemente las leyes newtonianas correctas y esquemas conceptuales alternativos. Para aquellos estudiantes que parecen ser inconsecuentes en sus creencias, identificar sus categorías de pensamiento y buscar evidencias de una lógica subyacente.	333 estudiantes universitarios, 144 estudiantes de <i>high school</i> (grados 11-12). (Todos habían estudiado física). 57 estudiantes de <i>high school</i> (grado 10) que no habían estudiado física.	Test de diez ítems administrados como una tarea escrita solamente o acompañada de una entrevista. Son preguntas abiertas acerca de hechos o situaciones físicas concretas.
Kruger y otros, 1992	Su principal propósito es dar una visión de los hallazgos relativos a si los profesores de primaria comprenden los conceptos de ciencias lo bastante bien para presentarlos acertadamente a los niños.	159 profesores de primaria ingleses con distinta base en ciencias y experiencia profesional.	Entrevistas sobre ejemplos y acontecimientos a 20 profesores de primaria. Después se pasó un cuestionario de opción múltiple a una muestra más amplia.
Thijs, 1992	Evaluar la eficacia de un curso planeado sobre fuerza en el que se tienen en cuenta las preconcepciones de los estudiantes. Identificar qué estudiantes se benefician del enfoque constructivista.	190 estudiantes de escuela secundaria holandesa de una edad media de 15 años.	Test de lápiz y papel con dibujos. En cada situación, que correspondería a una cuestión, se preguntan una serie de subcuestiones, unas abiertas y otras de elección múltiple.
Galili y Bar, 1992	Probar la hipótesis de que los fallos de comprensión conceptuales sobre movimiento es posible que sobrevivan al proceso de instrucción.	33 estudiantes de 10º grado de <i>high school</i> (15 años) sin instrucción en dinámica, 60 de 11º grado de HS (16 años) que sólo habían estudiado una física estándar, 36 de 12º grado de HS (18 años), 27 estudiantes desaventajados socialmente mayores de 23 años y 19 futuros profesores mayores de 23 años.	Test de lápiz y papel con cuestiones abiertas-cerradas, excepto una cuestión. Todas eran cuestiones cualitativas y se presentan dibujos.
Reynoso y otros, 1993	Analizar los diferentes esquemas relativos a la caída libre que presentan los estudiantes y profesores mejicanos de escuelas primarias, secundarias y preuniversitarias.	33 estudiantes de primaria (8-12 años); 159 de secundaria (11-14 años); 111 preuniversitarios (16-18 años); 19 profesores de primaria y 20 de preuniversitario.	Tests de lápiz y papel y entrevista personal. En el caso de niños de escuela primaria sólo se tuvo en cuenta la entrevista.
Galili, 1993	El objetivo es probar la validez de una estrategia de enseñanza del concepto de <i>peso</i> (identificar el peso de un cuerpo con la fuerza de la gravedad).	129 estudiantes de HS (16-18 años) con distinta formación sobre los conceptos de <i>peso</i> y <i>gravedad</i> . 27 estudiantes mayores de 23 años a los que se les enseñó con un currículo reducido y conceptualmente orientado. 42 futuros profesores de 23 años o más.	Test de lápiz y papel con cuestiones abiertas y cualitativas relativas a situaciones físicas.

Tabla I
Trabajos seleccionados. (Continuación).

Bar y otros, 1994	Identificar ideas comunes de los niños y su consistencia relativas a por qué caen las cosas utilizando diferentes contextos. Correlacionar el desarrollo de las concepciones de los niños de <i>peso y caída libre</i> con sus capacidades para conservar el peso de cuerpos deformables. Verificar las ideas de los niños sobre el papel de la tierra en el proceso de caída libre.	400 niños de entre 4 y 13 años procedentes de una guardería, una escuela elemental y una <i>junior high school</i> . 20 chicos y 20 chicas fueron elegidos al azar de una población total para cada nivel de edad. Estos niños no habían recibido enseñanza formal sobre peso y caída libre.	Entrevista individual de media hora compuesta por cuatro tareas y presentada con demostraciones (Piaget 1929, 1972). Se usaron las mismas tareas para todos los grupos de edad.
Twigger y otros, 1994	Identificar concepciones previas comunes en el razonamiento de los estudiantes entre 10-15 años sobre aspectos del movimiento horizontal y vertical y explorar la extensión en la cual estas concepciones previas son dependientes de la edad.	36 estudiantes (10-15 años).	Entrevistas de una hora realizadas en parejas de alumnos para fomentar la discusión. A cada estudiante se le pedía escribir o dibujar su respuesta.
Kuiper y Mondlane, 1994	Estudiar las interpretaciones que realizan los alumnos sobre el concepto de <i>fuerza</i> para observar si las ideas de los alumnos sobre fuerza son coherentes y lógicas, independientes del contexto (esquemas alternativos).	Muestra principal: 143 sujetos (cursos desde 1° a 6° de secundaria) de Zimbabue.	Prueba mixta de papel y lápiz (opción múltiple y preguntas abiertas). En todos los casos se pide seleccionar una respuesta de un conjunto de ítems sobre la existencia de fuerzas y el nivel de certeza de su elección. Si la respuesta es afirmativa, se pide dibujarlas, indicar la intensidad o nombrarla. Si la respuesta es negativa, se pide explicar por qué.
Montanero y Pérez, 1995	Analizar cómo explican los sujetos las interacciones entre dos cuerpos e investigar las leyes que es posible que generen los sujetos para dar origen a sus teorías implícitas.	Estudio preliminar: 40 alumnos de 16-17 años. Estudio definitivo: 78 estudiantes de 7° de EGB (12-13 años), 78 estudiantes de 8° de EGB (13-14 años), 72 estudiantes de 2° de BUP (15-16 años), 81 estudiantes de 3° de BUP (16-17 años), 105 estudiantes de COU (17-18 años), 47 estudiantes de 1° de química (18-19 años), 21 estudiantes de 3° de física (20-21 años) y 28 profesores (muestra a la que se pasa el cuestionario).	Estudio preliminar: test de lápiz y papel con opciones múltiples (se pide explicar la opción escogida), entrevistas orales y discusiones de grupo. Estudio definitivo: nuevo test de lápiz y papel con opciones múltiples (se pide explicar la opción escogida), y un número menor de entrevistas clínicas de 25 a 30 minutos de duración.

Tabla II
Distribución por categorías de los trabajos seleccionados.

Año	Descriptivos dependientes	Descriptivos independientes	Descriptivos relacionales
< 85	Helm, 1980; Gunstone y White, 1981; Ivowi, 1984	Viennot, 1979; Watts y Zylbersztajn, 1981; Watts, 1982; Watts, 1983; Maloney, 1984; Ruggiero et al., 1985; Terry et al., 1985	Selman et al., 1982
> 85	Terry y Jones, 1986; Clement et al., 1989; Brown, 1989; Kruger et al., 1992; Galili, 1993	Noce et al., 1988; Boeha, 1990; Villani y Pacca, 1990; Finegold y Gorsky, 1991; Thijs, 1992; Galili y Bar, 1992; Reynoso et al., 1993; Bar et al., 1994; Twigger et al., 1994; Kuiper y Mondlane, 1994; Montanero y Pérez, 1995	Bar, 1989; Acevedo et al., 1989

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS TRABAJOS SELECCIONADOS SOBRE «IDEAS» DE LOS ALUMNOS ACERCA DE FUERZA

Para poner de manifiesto si ha existido progresión en los estudios realizados acerca de «lo que el alumno sabe» sobre el concepto de fuerza, se va a realizar una comparación entre los resultados que ofrecen los diferentes trabajos seleccionados que se encuentran en una misma categoría y que utilizan hechos físicos clasificados dentro de la situación física de lanzamiento hacia arriba o caída de objetos. Siguiendo estos criterios se han construido las tablas III y IV, correspondientes a las categorías *descriptivos dependientes e independientes de los hechos físicos*, respectivamente.

En la tabla V se comparan los diferentes trabajos clasificados como *descriptivos relacionales*, pero los hechos físicos que utilizan no pertenecen a la misma situación física.

En las tablas III, IV y V se presentan: en la primera columna, los autores y año de publicación; en la segunda, los hechos físicos; en la tercera, las actividades a realizar por el alumno; y, en la cuarta, los resultados más significativos obtenidos por los diferentes autores.

Comparaciones entre los resultados obtenidos en los estudios categorizados como descriptivos dependientes, referidos a situaciones de lanzamiento o caída de objetos (Tabla III)

En la tabla III, se pueden comparar autores que presenten los mismos hechos físicos y preguntas (Helm, 1980; Ivowi, 1984); análogo hecho físico que los anteriores

pero modificando las cuestiones o actividades a realizar por el alumno (Gunstone y White, 1981); y, por último, los que cambian los hechos físicos y las actividades sobre dichos hechos (Terry y Jones, 1986; Clement et al., 1989; Brown, 1989; Kruger et al., 1992; Galili, 1993). De dicha comparación, se observa que: a) Helm (1980) e Ivowi (1984) presentan los mismos resultados; b) Gunstone y White (1981), al modificar el tipo de preguntas, encuentran resultados distintos; y c) los demás autores, al cambiar los hechos físicos y las preguntas, describen resultados diferentes entre sí y con respecto a los anteriores.

Los progresos que se producen en la categoría *descriptiva dependiente de los hechos*, si se comparan los trabajos posteriores a 1985 con los anteriores, se refieren fundamentalmente a la presentación de nuevos resultados, como consecuencia de modificar aspectos perceptivos en las situaciones físicas que se presentan al alumno (caída libre de una piedra o de un ascensor), lo que origina respuestas diferentes, aunque se realicen análogas preguntas (Galili, 1993).

A pesar de que se ofrecen resultados diferentes y puntualizaciones de carácter metodológico, como las que apunta Galili (1993), no parecen existir diferencias entre los resultados publicados por los diferentes investigadores en el periodo anterior a 1985 y el posterior, en cuanto que los distintos resultados que se presentan en esta categoría se deben, más que a una progresión en la metodología o al marco teórico, a los hechos físicos utilizados, al tipo de pregunta realizada y a la muestra seleccionada.

Resulta ilustrativo que todos los autores, a excepción de Gunstone y White (1981), utilicen en sus preguntas el término *fuerza*. De aquí que las respuestas del alumno

Tabla III
Trabajos descriptivos dependientes de los hechos físicos presentados.

Autores	Hechos físicos	Actividad a realizar por el alumno	Resultados encontrados
Helm, 1980	1. Dos bloques (A y B) unidos por una cuerda que pasa por una polea, en uno de sus extremos está A que cae verticalmente y B que se desliza por la mesa.	1. Identificar quién ejerce la fuerza que actúa sobre B.	En el trabajo se presentan los porcentajes para las respuestas correctas y de algunos de los distractores más populares (conceptos erróneos o ideas falsas). 1. La fuerza F que actúa sobre B es ejercida por: a) bloque A, b) la tierra, c) la cuerda, d) la mesa.
Gunstone y White, 1981	1. Una esfera de hierro y una esfera de plástico del mismo diámetro (10 cm) se sostienen a dos metros de altura. Después se dejan caer tres veces. 2. a) Una polea sustenta una cuerda en cuyos extremos se sitúan un cubo lleno de arena y un bloque de madera de igual masa. El cubo está más alto que el bloque. b) Se añade una cucharada de arena al cubo y después una pala de arena. c) Se colocan marcas a 0,6 y 1,2 m por debajo del cubo antes de echar la pala de arena. 3. El bloque de madera y el cubo de arena cuelgan de una polea a la misma altura. Se tira hacia abajo del bloque 0,7 m y se sostiene agarrado. Después se suelta. 4. Un bloque situado en la parte horizontal de un tablero con superficie lisa está unido por una cuerda a un cubo de arena de igual masa que queda suspendido verticalmente.	1. Predecir la relación entre los tiempos que tardan en caer. Registrar las observaciones y explicar posibles discrepancias. 2. a) Predecir cuál de los dos objetos pesa más y explicar las bases para hacer la predicción. b) Predecir qué puede ocurrir con el cubo, observar y comparar. c) Predecir la relación entre las velocidades del cubo en las dos marcas, observar y comparar. 3 y 4. Predecir lo que ocurrirá cuando se libere el bloque, observar y comparar.	Niveles de comprensión (adecuados o inadecuados): 1. Cuando la observación entra en conflicto con la predicción, la respuesta usual es decir que la resistencia del aire es menor o mayor de lo que se anticipa. A continuación, la respuesta más común es ignorar la discrepancia. 2. a) Pesa igual, el bloque pesa más o el cubo pesa más. b) La mayoría eran correctas. c) Velocidad en la marca más baja, mayor que en la más alta (90%). 3. Creencia de muchos estudiantes de que el sistema volvería a su posición original. 4. Cuanto más espectacular sea la observación y, por tanto, mayor la discrepancia con la predicción, existe menos tendencia a justificar la predicción y más tendencia a considerarla como errónea.
Ivowi, 1984	1. Dos bloques (A y B) unidos por una cuerda que pasa por una polea, en uno de sus extremos está A, que cae verticalmente, y B, que se desliza por la mesa. 2. Un cuerpo B está situado encima de otro A, que a su vez está en el borde de una mesa. Se da un fuerte empujón a A, de tal manera que A sale lanzado con un componente horizontal de la velocidad y B cae verticalmente hacia abajo.	1. Identificar quién ejerce la fuerza que actúa sobre B. 2. Predecir qué cuerpo alcanza primero el suelo y explicar por qué.	Respuestas correctas y concepciones erróneas: 1. La fuerza F que actúa sobre B es ejercida por: a) el bloque A, b) la tierra, c) la cuerda, d) la mesa, e) la polea. 2. a) B alcanza el suelo primero porque está afectada directamente por la gravedad, b) A alcanza el suelo primero porque le es dada una velocidad inicial finita, c) Ambos alcanzan el suelo al mismo tiempo porque tienen la misma aceleración hacia el suelo, d) A alcanza primero el suelo porque recorre una distancia más corta, e) Ambos alcanzan el suelo al mismo tiempo porque se aceleraron igualmente hacia abajo con la misma velocidad inicial.
Terry y Jones, 1986	Una piedra cae verticalmente hacia la tierra.	Identificar la fuerza que está emparejada con la fuerza gravitacional de la tierra.	Respuestas erróneas o correctas: a) Respuesta correcta (4 alumnos). b) La resistencia del aire (18 alumnos). c) No sugieren una fuerza (17 alumnos).
Galili, 1993	Un ascensor con una persona dentro en estado de caída libre.	1. Identificar las fuerzas experimentadas por la persona y describir las sensaciones que tiene la persona antes del impacto.	Del análisis de las respuestas se deduce que muchas de las desviaciones en la comprensión (errores de comprensión, de interpretación y omisiones) derivan del enfoque de enseñanza utilizado (identificar peso con fuerza gravitatoria). 1. «Sólo mg » (la fuerza hacia abajo de la atracción gravitatoria). 2. «Existe la normal». 3. «No se muestran fuerzas gráficamente». 4. «Fuerza adicional». Referencia a una tercera fuerza aparte de mg y N que podría recordar a una fuerza inercial que actuase opuesta al movimiento. 5. «Cambios de peso» (aumentando o disminuyendo). 6. «El hombre vuela» (referencia al estado de ingravidez). 7. «El hombre se mueve relativamente» (la persona se mueve hacia arriba y se para cuando alcanza el techo del ascensor). Es rara. 8. «No ruptura del movimiento» (la persona y el ascensor no empiezan a moverse hacia abajo inmediatamente que el cable se rompe, sino primero gradualmente reduce la velocidad hacia arriba y finalmente cambia la dirección).

Tabla IV

Trabajos descriptivos independientes de los hechos físicos presentados.

Autores	Hechos físicos	Actividad a realizar por el alumno	Resultados encontrados
Viennott, 1979	Movimiento congelado en un instante determinado y a la misma altura de: 1) Una serie de pelotas de malabarista que han sido lanzadas hacia arriba siguiendo dos trayectorias distintas y que varían en cuanto a las características del vector velocidad. (Resistencia del aire despreciable). 2) Tres masas idénticas suspendidas de muelles colgados del techo que tienen movimiento periódico de distinta amplitud pero que en ese instante presentan la misma elongación y distintos vectores velocidad.	1 y 2. Comparar las fuerzas que actúan sobre cada una de las masas.	Tendencias generales en el razonamiento espontáneo: a) Tendencia a atribuir cantidades físicas (p.e., fuerza o energía) a los objetos mismos. b) Tendencia a buscar una fuerza (o sentir una necesidad para una fuerza) en la dirección del movimiento para explicar el movimiento. Ley intuitiva sobre movimiento: una relación pseudolineal entre fuerza y velocidad, $F = \alpha(v)$. 1. Si $v=0$, entonces $F=0$, incluso si la aceleración no es cero. 2. Si $v \neq 0$, entonces $F \neq 0$ incluso si $a=0$. 3. Si las velocidades son diferentes, las fuerzas son diferentes, incluso si las aceleraciones son las mismas. Nociones de fuerza: a) Fuerza de interacción (F_{a_i}) es función de la posición del cuerpo que se mueve, y determina el rango de cambio de velocidad; $F_{a_i} = ma$. Es escogida para explicar el movimiento cuando éste no es conocido como información inicial y en un sistema galileano cuando la fuerza actúa en la misma dirección del movimiento. b) Fuente de fuerza (F_j) considerada como «la fuerza en un cuerpo que lo mantiene en movimiento».
Watts y Zylbersztajn, 1981	1. Una piedra lanzada verticalmente hacia arriba. 2. Una bala disparada por un cañón que sigue una trayectoria parabólica. 3. Un astronauta sobre la luna deja caer una llave inglesa.	1 y 2. Identificar las fuerzas que actúan sobre la piedra o la bala en varios puntos de su trayectoria. 3) Predecir lo que ocurrirá con la llave inglesa. En todos los casos se pedía dar una explicación.	1 y 2. Esquemas alternativos: Si un cuerpo está moviéndose, existe una fuerza neta sobre él en la dirección del movimiento. Si el cuerpo no se está moviendo, no existe fuerza neta actuando sobre él. 3. Opciones mayoritarias: - La llave inglesa permanecería estacionaria a la altura de la mano sobre la superficie de la luna. - Ascendería hacia arriba lejos de la superficie. (Juntas corresponderían al 80%).
Watts, 1982	1. Un jugador de golf golpeando una pelota de golf. 2. Un astronauta que tropieza con un cráter en la luna. 3. Un bañista saltando sobre un trampolín.	Identificar si existen o no fuerzas en cada situación.	Esquemas alternativos: - La gravedad es una fuerza que requiere un medio a través del cual actuar. - Donde no existe aire, no existe gravedad. - La gravedad se incrementa con la altura. - La gravedad es constante -los objetos que se mueven intentan contrarrestar la gravedad y fallan. - La gravedad empieza a operar cuando los objetos empiezan a caer y continúa hasta que están en reposo sobre el suelo. - La gravedad es una fuerza grande. - La gravedad es grande porque actúa sobre muchos objetos. - La gravedad es selectiva -no actúa sobre todas las cosas de la misma manera ni sobre las mismas cosas todo el tiempo. - Gravedad no es peso -pero puede actuar en conjunción con el peso para mantener en su sitio las cosas.
Watts, 1983	1. Un golfista golpeando la pelota. 2. Un astronauta que tropieza con un cráter en la Luna. 3. Un niño saltando a la piscina desde un trampolín.	Identificar la presencia o ausencia de fuerzas en cada situación. Dar una explicación.	Esquemas alternativos: - Fuerzas afectivas (que conducen a una acción): fuerzas son obligaciones para realizar una acción en contra de alguna resistencia. - Fuerzas de configuración: los objetos retenidos en una posición tienen fuerza. Tienen un sentido similar a la idea del físico de energía potencial.

Tabla IV
Trabajos descriptivos independientes de los hechos físicos presentados. (Continuación).

			<ul style="list-style-type: none"> - Fuerzas denominadas: son inherentes a aquellos objetos que hacen que ocurra un suceso. Los humanos, las máquinas y algunos objetos son centros de fuerza: noción antropomórfica de fuerza. - Fuerzas de encuentro: consideran F como entidad única, más que como interacción entre cuerpos. Cuando dos o más fuerzas se juntan, ellas pueden combinarse para cambiar el movimiento de un objeto. - Fuerza móvil: fuerza es algo que se requiere para causar y mantener el movimiento. - Fuerzas operativas: fuerza es una acción. La cantidad de fuerza es proporcional a la cantidad de actividad que tiene lugar; es similar a la noción del físico de energía. - Fuerzas denominadas: son inherentes a aquellos objetos que hacen que ocurra un suceso. Los humanos, las máquinas y algunos objetos son centros de fuerza: noción antropomórfica de fuerza. - Fuerzas de encuentro: consideran F como entidad única, más que como interacción entre cuerpos. Cuando dos o más fuerzas se juntan, ellas pueden combinarse para cambiar el movimiento de un objeto. - Fuerza móvil: fuerza es algo que se requiere para causar y mantener el movimiento. - Fuerzas operativas: fuerza es una acción. La cantidad de fuerza es proporcional a la cantidad de actividad que tiene lugar; es similar a la noción del físico de energía.
Ruggiero y otros, 1985	<ol style="list-style-type: none"> 1. Un malabarista está lanzando hacia arriba tres bolas exactamente iguales; cuando la primera está en el punto más elevado de su trayectoria, la segunda asciende y la tercera desciende. 2. Un astronauta en la Luna suelta una llave inglesa. 3. Se coloca una piedra sobre una balanza que está dentro de una urna y sujeta al fondo de ésta. A continuación se extrae el aire con una bomba de vacío. Después se vuelca la urna. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Comparar las fuerzas que actúan sobre las bolas. 2. Predecir lo que ocurre con la llave inglesa. 3. Predecir la relación entre el peso de la piedra antes y después de sacar el aire y lo que le ocurriría a la piedra al volcar la urna. 4. Explicar los términos fuerza de gravedad y peso. 	<p>Esquemas de conocimiento espontáneo:</p> <p>Esquema A: La fuerza de la gravedad opera sobre el peso de los objetos causando su caída. La presión del aire es la causa de la gravedad. Esquema A1: En ausencia de aire, el peso se hace cero. Esquema A2: El peso comprendido como una propiedad de los objetos no varía.</p> <p>Esquema B: La fuerza de la gravedad y el peso son causas independientes que dan lugar a la caída de los objetos. Esquema B1: Peso y gravedad dependen del aire. Esquema B2: El aire opera sólo sobre el peso o sólo sobre la gravedad.</p> <p>Esquema C: Fuerza de gravedad, peso y caída son fenómenos independientes. La fuerza de gravedad explica el equilibrio. El peso es una medida de los objetos. La caída ocurre debido a un movimiento natural: ausencia de soporte. Esquema C1: El aire influye en el peso, en la caída o en ambos. Esquema C2: Correcta descripción de los fenómenos sobre la Tierra pero la gravedad es una propiedad sólo de la Tierra y el «vacío del espacio» es diferente al «vacío terrestre». Esquema C3: La descripción de fenómenos sobre la Tierra es correcta excepto que la caída es considerada un «movimiento natural» que no requiere nuevas causas.</p> <p>Esquema D: Corresponde al científicamente correcto.</p>
Noce y otros, 1988	<ol style="list-style-type: none"> 1. Un astronauta en la Luna suelta una llave inglesa. 2. Se coloca una piedra sobre una balanza que está dentro de una urna y sujeta al fondo de ésta. A continuación se extrae el aire con una bomba de vacío. Después se vuelca la urna. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Predecir lo que ocurre con la llave inglesa. 2. Predecir la relación entre el peso de la piedra antes y después de sacar el aire y lo que ocurriría con la piedra al volcar la urna. 3) Definir fuerza de gravedad (sólo para la muestra d). 	<p>* Muestras a, b y c: Analiza las respuestas en base a los criterios de Ruggiero (1985) de esquemas de conocimiento espontáneo (esquemas A, B, C y D; Ruggiero, 1985).</p> <p>* Muestra d: Los criterios de Ruggiero no se pueden aplicar a toda la muestra.</p> <p>1 y 2. Respuestas posibles: flota (79), cae (8), no contesta (1). Se analizan las respuestas de 55 niños que habían dicho que la llave flota sobre la Luna y daban definiciones de <i>fuerza de gravedad</i> articuladas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enfoque o modelo descriptivo: No explican por qué flota la llave y dan una definición genérica de <i>gravedad</i> (p.e. es un tipo de aire, es una fuerza que atrae) (21 niños). - Enfoque o modelo explicativo: Utiliza la fuerza de la gravedad para explicar por qué flota la llave y, al definir <i>gravedad</i>, la relaciona con otras respuestas anteriores distinguiéndose un modelo explicativo geocéntrico (relaciona la fuerza de gravedad con la Tierra y el que los objetos floten cerca de la superficie de la Luna es debido a una fuerza de gravedad originada desde la Tierra y extendida en el espacio y que

Tabla IV

Trabajos descriptivos independientes de los hechos físicos presentados. (Continuación).

			<p>atrae las cosas hacia la Tierra) y definiciones tautológicas de <i>gravedad</i> («es la fuerza que hace que las cosas floten»).</p> <p>2. Esquemas de Ruggiero (1985): Esquema A (11 alumnos), esquema B (6 alumnos), esquema C (21).</p> <p>- No responde (49 alumnos).</p> <p>* Muestra e: cinco entrevistas confirman el modelo explicativo geocéntrico del hecho observado de flotar los objetos sobre la Luna.</p>
Boeha, 1990	<p>1. Una pelota que ha sido golpeada por un bateador está en su trayectoria parabólica ascendente.</p> <p>2. La misma pelota en un punto de su trayectoria parabólica descendente antes de tomar tierra.</p>	<p>¿Existen fuerzas sobre la pelota? Si existen, identificar estas fuerzas y sus direcciones y exponer las razones que le llevan a dar esa respuesta.</p>	<p>Visiones de tipo aristotélico:</p> <p>- Fuerzas denominadas: Ciertos cuerpos u objetos están dotados de fuerza. Poseen fuerza aquellos objetos que causan que ocurran acontecimientos.</p> <p>- Fuerza móvil: La fuerza actúa en la línea del movimiento.</p> <p>- Fuerzas operativas: Fuerza como una acción que puede producir un efecto. Se consume proporcionalmente al nivel de actividad, desaparece o se transforma de una forma en otra durante el acontecimiento. Similar a la visión del físico de energía.</p> <p>- Fuerzas de encuentro: Si las fuerzas se reúnen, a menudo no producen movimiento y, si ya están en objetos que se mueven, se combinan para cooperar en el movimiento o pueden equilibrarse. Se trata la gravedad como una fuerza incluyendo la gravedad y la resistencia del aire.</p> <p>- Fuerzas de configuración: La idea de fuerza es debida a la posición del objeto.</p>
Finegold y Gorsky, 1991	<p>1. En la trayectoria parabólica de una bola de cañón disparada por un cañón, se consideran tres posiciones: ascendente, en el punto más alto y descendente.</p> <p>2. Considerar una partícula en movimiento vertical ascendente, que pasa por un punto por encima del punto de lanzamiento.</p>	<p>Identificar las fuerzas que actúan sobre los objetos en las distintas situaciones nombrándolas e indicando mediante flechas sus direcciones; ignorando las fuerzas resultantes de la presión y fricción del aire; y considerando que los objetos en movimiento son rígidos y no están girando.</p>	<p>- Muchos estudiantes en la muestra, antes de la instrucción formal en física, se adhieren a creencias científicamente incorrectas sobre las fuerzas que actúan sobre objetos en movimiento.</p> <p>- El esquema «movimiento implica una fuerza neta» no es consistentemente aplicado, incluso por alumnos que no han estudiado física. Los datos sugieren que el esquema explicativo «movimiento implica fuerza...» señalada por Viennot (1979), Clement (1982, 1983) y Watts (1983) no es un buen predictor de las creencias de los estudiantes relativas a objetos que sufren movimiento periódico, lineal o de proyectiles. Los anteriores investigadores trabajaron con sistemas únicos y no con diferentes sistemas.</p> <p>- Se identifican categorías conceptuales aparentemente consistentes y coherentes en relación con las fuerzas que actúan sobre objetos en movimiento. Esto es, los conjuntos de respuestas se repetían y parecen ser lógicas. Más de 2/3 de los estudiantes universitarios y de <i>advanced high school</i> se adhieren a tales categorías.</p> <p>- Probablemente, existen esquemas en la mente de los estudiantes como «depósitos» para la asignatura de física; sin embargo, excepto para los estudiantes que consistentemente aplican un esquema newtoniano, no proporcionan una perspectiva desde la cual las creencias de los estudiantes sobre comportamiento físico sea posible predecir.</p>
Thijs, 1992	<p>Una persona lanza una pelota verticalmente hacia arriba y la velocidad de la pelota va descendiendo. Considerar un punto en la trayectoria ascendente de la pelota una vez que ya ha abandonado la mano del lanzador.</p>	<p>Identificar la presencia o ausencia de fuerzas sobre la pelota. Si el alumno contesta que no hay fuerzas, dar una explicación. Si contesta que sí, identificar la presencia o ausencia de una serie de fuerzas. De las que considere que están presentes, describirlas en cuanto a dirección e intensidad.</p>	<p>Para elaborar el cuestionario utiliza términos extraídos de investigaciones de otros autores bajo los cuales subyace una concepción errónea particular. Estas concepciones erróneas son:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cuando un objeto se mueve, una fuerza inherente al objeto (ímpetu) explica su movimiento. 2. La fricción tiene un valor constante y no tiene una dirección particular. 3. La fuerza conductora se asocia con el movimiento. La fuerza de la gravedad desciende cuando el balón sube, es cero en la parte alta de la trayectoria y se incrementa otra vez cuando el balón cae. 4. La fuerza resultante se asocia con el movimiento. La fuerza resultante tiene la misma dirección que la velocidad del objeto y su valor cambia de la misma forma.

Tabla IV

Trabajos descriptivos independientes de los hechos físicos presentados. (Continuación).

Galili y Bar, 1992	<ol style="list-style-type: none"> 1. Un cuerpo que ha sido lanzado hacia arriba. 2. Un ascensor con un pasajero dentro se está moviendo con velocidad constante hacia arriba y hacia abajo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar y nombrar todas las fuerzas ejercidas sobre el cuerpo (omitiendo el razonamiento). 2. Identificar las fuerzas ejercidas sobre el pasajero. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. a) Respuesta correcta. b) Fuerza hacia delante. c) Fuerza cero en la parte superior de la trayectoria. d) Sin respuesta. 2. a) Suma de fuerzas cero. b) Fuerzas identificadas correctamente. c) Uso del principio de Galileo. d) Hacia arriba no igual que hacia abajo. e) La tercera fuerza (mencionar la fuerza del cable). f) fuerza m.a. g) Integración (afirmaban que las fuerzas ejercidas sobre el ascensor eran transferidas y sentidas por la persona). h) Sin fuerza Normal. i) Sin mg. j) No responden. <p>Algunas de las respuestas erróneas responden a visiones prenewtonianas ya descritas anteriormente por otros autores, por ejemplo: «fuerza es proporcional a velocidad» o «movimiento implica fuerza».</p>
Reynoso y otros, 1993	<ol style="list-style-type: none"> 1. Un astronauta en la Luna lleva una piedra en la mano y la suelta. 2. La misma situación pero en la Tierra. 3. Un astronauta sobre la Luna tiene dos hojas de papel idénticas. Una de ellas la estruja con la mano formando una bola y la otra no la toca. Después, las deja caer. 4. La misma situación pero en la Tierra. 5. Levantar una piedra pesada en la Luna y en la Tierra. 	<ol style="list-style-type: none"> 1 y 2. Describir qué ocurre y explicar por qué. 3 y 4. Describir qué ocurre y explicar por qué. Cuestiones diseñadas para explorar las ideas de los sujetos sobre peso, densidad e influencia del medio en la caída de los cuerpos. 5. Comparar la facilidad para levantar una piedra pesada en la Tierra y en la Luna. Cuestiones diseñadas para descubrir las ideas sobre la relación entre peso y gravedad. Las siguientes cuestiones se preguntan sin hacer referencia a situación alguna. 6. Definir el peso de un cuerpo. 7. Definir qué es la gravedad. 	<p>Esquemas y subesquemas alternativos:</p> <p>A. Los cuerpos caen sobre la Tierra y sobre la Luna. Aprimitiva: Sin explicación. A1: $f_{GT} > f_{GL}$. A2: $f_{GT} < f_{GL}$ o $f_{GT} = 0$</p> <p>B. Los cuerpos caen sobre la Tierra y flotan en la Luna. Bprimitiva: Sin explicación. B1: $f_{GT} > f_{GL}$ o $f_{GL} = 0$. B2: $f_{GT} < f_{GL}$. B3: Sobre la Tierra existe atmósfera, lo que implica que los objetos caen y sobre la Luna no existe atmósfera y por ello los objetos flotan. Los objetos flotan en la Luna debido a la ausencia de aire, atmósfera y oxígeno. B4: Sobre la Luna existe atmósfera, lo que implica que los objetos flotan y sobre la Tierra los objetos caen debido a su peso. Los objetos flotan en la Luna debido a la atmósfera de la Luna. Ya que la Tierra no tiene una atmósfera o un viento lunar, los objetos caen.</p> <p>En B3 y B4, los estudiantes no ofrecen explicaciones. A veces la palabra <i>gravedad</i> es usada pero no tiene significado para ellos.</p> <p>AB. (Encontrado en estudiantes pre-universitarios). Es una combinación de las otras dos. A es usado para cuerpos pesados y B para ligeros. Los objetos caen en la Tierra y caen o flotan en la Luna según su peso.</p> <p>Distribución de esquemas y subesquemas según niveles educativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Escuela primaria: Aprimitiva y Bprimitiva. - Escuela secundaria: Aprimitiva, A1, A2, Bprimitiva, B1, B2, B3, B4. - Preuniversitario: Aprimitivo, A1, Bprimitiva, B1, B2 y AB. - Profesores de primaria: No aparece A, y aparecen B1, B3 y B4 siendo mayoritario B1. - Profesores de presuniversitario: La mayoría tenía el modelo científico; uno tenía Aprimitivo; y otro, AB.
Bar y otros, 1994	<ol style="list-style-type: none"> 1. Un objeto que cae al suelo. 2. Un trozo de hielo flota en el agua y un trozo de plastilina se hunde. 3. Los barcos flotan en el agua. 4. Dos cubos de las mismas dimensiones, uno más pesado que el otro, se dejan caer al mismo tiempo desde la misma altura. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Explicar por qué cae el objeto y por qué lo hace hacia abajo. 2. Explicar por qué el hielo flota y la plastilina se hunde. 3. Explicar por qué los barcos flotan en el agua. 4. Comparar los pesos sosteniéndolos en la mano. Predecir qué peso llegará antes al suelo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ideas de los niños de por qué las cosas caen. Tres categorías: a) ausencia de soporte, b) pesadez, c) la fuerza atractiva de la tierra. 2. Predicciones sobre los objetos que caen. Tres categorías: a) El objeto ligero precede al objeto pesado (5-7 años), b) El objeto pesado llega antes (7- años). c) El objeto ligero y el pesado alcanzarán la tierra juntos (13 años, respuesta correcta aunque explicación incorrecta). 3. Conservación del peso de objetos deformables. La conservación del peso aumenta con la edad. 4. Relación entre peso y caída libre. Las ideas de los niños pueden ser interpretadas en términos de una teoría de sentido común significativa. (5-7 años): Caer es un movimiento natural y para impedir que algo caiga se necesita esfuerzo (suele implicar conexión tangible). Identifican peso con fuerza -la fuerza de choque, la fuerza para penetrar, la fuerza presionando sobre la mano de uno y la fuerza interna- que puede mantener algo estable.

			<p>(7-9 años): No sólo relaciona el peso con la percepción de fuerza presionando sobre la mano, sino que además, «pesadez» es una medida de la cantidad de materia contenida en el objeto y es relacionada con las propiedades del material del que está hecho.</p> <p>Los objetos pesados caen si no están soportados y los ligeros no caen.</p> <p>(9-13): La fuerza atractiva de la Tierra actúa sobre el peso del objeto y lo hace caer, a menos que se soporte.</p> <p>El razonamiento de los niños llega a ser gradualmente más abstracto: conexión tangible (5-7 años), pesadez como propiedad del objeto (7-9 años) y la fuerza atractiva de la Tierra (9-13 años). El modelo de sentido común básico permanece, aunque su apariencia cambia con la edad.</p>
Twigger y otros, 1994	<ol style="list-style-type: none"> 1. Un balón se levanta y se deja caer. 2. Un paracaidista cuando: a) se acaba de abrir su paracaídas, b) cuando está cerca de tierra, c) ha tomado tierra. 3. Un balón se lanza verticalmente hacia arriba y cae, recogiendo después a la misma altura. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Significado de los términos <i>fuerza</i> y <i>energía</i>. Explicar si se puede considerar el peso como una fuerza. 2. Identificar las fuerzas implicadas con flechas y las magnitudes relativas de las fuerzas. 3. Describir y explicar el movimiento del balón. Comparar las velocidades relativas en cinco puntos de su trayectoria. 	<ol style="list-style-type: none"> a) Los objetos se paran porque agotan su fuerza o energía. b) La fuerza conductora debe ser más grande que la resistencia para que los objetos continúen moviéndose a velocidad constante. c) Cuando la fuerza impulsiva se para, el objeto continúa acelerándose brevemente.
Kuiper y Mondlane, 1994	Un hombre lanza una bola hacia arriba.	Identificar la presencia o ausencia de fuerzas sobre la bola después de que haya sido lanzada. Indicar el grado de certeza. Si la respuesta es afirmativa, dibujar mediante flechas las fuerzas y nombrarlas. Si la respuesta es negativa, explicar por qué.	<p>Principales tipos de respuestas:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Correcta: Actúa la gravedad (y la fricción del aire). b) Intermedia: Actúa una fuerza ímpetu y la gravedad (y la fricción del aire). c) Intuitiva: Sólo actúa la fuerza del ímpetu. <p>Dentro de un área problema (p.e. objetos lanzados, sistemas en movimiento, etc.), los estudiantes utilizan un tipo de idea consistentemente (todas correctas, todas intermedias o todas intuitivas). Del análisis <i>cluster</i>, se deduce que sólo el grupo de estudiantes más jóvenes puede decirse (con algo de generosidad) que tienen un esquema alternativo intuitivo sobre fuerza: Si no existe movimiento, no existe fuerza; si sí existe movimiento, entonces debe existir una fuerza en la dirección del movimiento; si existe una fuerza, dará lugar a un movimiento en la dirección de la fuerza (13%). La mayoría de los estudiantes parece poseer un conjunto más bien confuso de ideas sin mucha coherencia lógica.</p>

Tabla V
Trabajos descriptivos relacionados.

Autores	Hechos físicos	Actividad a realizar por el alumno	Resultados encontrados
Selman y otros, 1982	Pesos diferentes que se dejan caer desde la misma altura.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Explicar qué hace que las cosas caigan al suelo. 2. Predecir la relación entre los tiempos que tardan al caer y explicarlo. 3. Explicar la observación de que ambas golpean al mismo tiempo el suelo. 	<p>Nivel preoperacional: Concepciones basadas en sucesos correlacionados (causa efecto) evidentes. («Sí, porque tú las dejas caer.»)</p> <p>Nivel concreto inicial: Concepciones basadas en fuerzas no visibles unilaterales (es incapaz de considerar la interacción de dos fuerzas gravitacionales sobre un objeto único. Ejemplo de respuesta: porque algo tira de ellas hacia la Tierra.</p> <p>Existe una cierta correspondencia entre el dominio del razonamiento lógico-matemático y el de la comprensión de conceptos en ciencias. Sin embargo, avances en un dominio no son necesariamente dependientes del avance en el otro.</p>
Bar, 1989	<p>1. Problemas de muelles: Se cuelga un peso de un muelle y se marca la longitud del mismo. Se quita el peso y se estira con el dedo hasta la misma longitud. Se repite la operación con dos pesos. Este procedimiento fue usado otra vez, cuando el número de pesos colgados del muelle la segunda vez fue tres, y después cuatro. Algunas otras combinaciones también fueron usadas: dos y después tres pesos, dos y después cuatro pesos.</p> <p>2. Problemas de equilibrado de balancines: Se cuelga un peso de un brazo de una palanca y se equilibra dos veces mediante diferentes conjuntos de pesos colgados en dos puntos diferentes sobre el otro brazo de la palanca. Se quitan los pesos que equilibraban y se equilibra presionando con el dedo en los mismos dos puntos.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar qué fuerza era mayor y expresar la relación entre las intensidades de esas fuerzas numéricamente. 2. Comparar la intensidad de las fuerzas de presión en esos dos puntos y expresar la relación entre ellas numéricamente. Explicar cómo se dedujo esa relación numérica. 	<p>El criterio que se utiliza para categorizar los datos son las etapas del pensamiento proporcional definidas por Karplus y Peterson (1970).</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. a) Respuestas cualitativas (p.e.: «La fuerza que se ejercía sobre el muelle es más alta la segunda vez porque se cuelgan más pesos). No podían responder a la segunda cuestión. b) Respuestas que usan un esquema aditivo. (p.e. «dos veces más» como respuesta al problema de un peso comparado con tres pesos). c) Respuestas de tipo aditivo-multiplicativo. Sólo usan un esquema multiplicativo para la relación 2:1. d) Respuestas de esquema multiplicativo. Usan razonamiento proporcional. e) Respuestas especiales. (p.e. 1:2 quiere decir tres veces, sumó los números de los pesos para dar la respuesta). 2. a) Respuestas cualitativas. b) Respuestas de esquema aditivo (contaban el número de agujeros o el número de pesos y los sumaban o los restaban para dar la respuesta). c) Respuestas de tipo multiplicativo-aditivo. d) Respuestas de tipo multiplicativo. e) Respuestas especiales. <p>Los niños de escuela elemental no identifican peso y fuerza pero son capaces de usar la relación entre el número de pesos para comparar fuerzas. A partir de los 10 años, la mitad de los participantes eran capaces de dar la respuesta cuantitativa correcta. El porcentaje de respuestas correctas es independiente del número de pesos colgados con tal de que sean números enteros.</p>
Acevedo y otros, 1989	<ol style="list-style-type: none"> 1. Una moneda es lanzada verticalmente hacia arriba vuelve a caer verticalmente despreciando el rozamiento del aire. 2. Un balón de baloncesto sigue una trayectoria parabólica hasta llegar a la canasta despreciando la resistencia del aire. 3. La Luna en su trayectoria circular alrededor de la Tierra. 4. Un péndulo simple oscila de derecha a izquierda. Despreciar el rozamiento del aire. 5. Un péndulo compuesto gira (despreciar el rozamiento del aire). 6. Una piedra atada a una cuerda gira perpendicularmente al suelo. Despreciar el rozamiento del aire. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar las fuerzas que actúan sobre la moneda en tres puntos de su trayectoria: cuando asciende, en la parte superior y cuando desciende. Dar una explicación. 2. Identificar las fuerzas que actúan sobre el balón en tres puntos de su trayectoria: cuando asciende, en la parte más alta y cuando desciende. Dar una explicación. 3. Identificar las fuerzas que actúan sobre la Luna. Dar una explicación. 4. Identificar las fuerzas que actúan sobre la bolita del péndulo en tres posiciones: en un punto cuando asciende, en la parte inferior y en un punto cuando desciende. Dar una explicación. 5. Identificar las fuerzas que actúan sobre la bolita. 6. Identificar las fuerzas que actúan sobre la piedra en cuatro puntos de su trayectoria: arriba, abajo, en la posición de las 9 horas cuando asciende y en la de las 2 cuando desciende. Dar una explicación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los estudiantes con competencia formal o concreta en el razonamiento proporcional dan respuestas alternativas a las del esquema newtoniano que inicialmente son similares. 2. Aparece una diferencia significativa entre esos individuos después del período de aprendizaje a favor de los alumnos con competencia formal. Los alumnos concretos no parecen progresar. <p>- Conclusiones.</p> <p>La competencia formal en el razonamiento proporcional resulta condición necesaria para adquirir esquemas conceptuales como el newtoniano, pero no suficiente.</p> <p>Justificación de los resultados: quizá el método de enseñanza no era todo lo bueno que podría esperarse, o bien el período de aprendizaje fue demasiado corto, o ambas cosas a la vez.</p> <p>Concepciones identificadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es frecuente la asociación entre fuerza y velocidad del movimiento. - En los movimientos curvilíneos, existe una tendencia a introducir fuerzas compensadoras de carácter centrífugo.

estén mediatizadas por la propia pregunta; así, el alumno tiene que generar una respuesta sin que se le dé opción a reconsiderar el hecho físico presentado desde una perspectiva diferente a la que se deduce del marco teórico actual de la mecánica clásica. Esto podría justificar el que los autores sólo describan las diferentes respuestas de los alumnos en términos de conceptos erróneos o ideas falsas (Helm, 1980), repuestas erróneas o correctas (Terry y Jones, 1986), nivel de comprensión adecuado o inadecuado (Gunstone y White, 1981), concepciones erróneas (Ivowi, 1984), errores de comprensión, de interpretación u omisiones (Galili, 1993). Salvo Gunstone y White (1981), que utilizan la predicción y la observación de un hecho físico concreto, el resto no puede decirse que presente cambios importantes en la metodología de investigación sobre la búsqueda de «lo que el alumno sabe» acerca del concepto de fuerza. Además, todos los autores, sin excepción, realizan las descripciones de las respuestas de los alumnos a partir del marco teórico que se deduce de la mecánica clásica; es decir, desde el propio contenido objeto de búsqueda, hecho encontrado y descrito por otros autores (Hashwesh, 1988; Abimbola, 1988; Marín, 1994; entre otros).

Comparaciones entre los resultados obtenidos en los estudios categorizados como descriptivos independientes, referidos a las situaciones de lanzamiento o caída de objetos (Tabla IV)

Para hacer referencia a las interpretaciones que hacen los investigadores o educadores a las respuestas de los alumnos en esta categoría se van a utilizar los términos *esquemas alternativos* (propuestos por Watts, 1983, para referirse a las diferentes explicaciones que dan los alumnos, independientes de los hechos físicos presentados, y alternativos a los que poseen los miembros de la comunidad científica actual) que tienen los alumnos sobre el concepto de fuerza.

Para observar si se ha producido progresión en la delimitación de los *esquemas alternativos* (EA), se comparan los trabajos publicados en el periodo 1979-85 con los de 1985-95, referidos al concepto de fuerza:

Esquemas o subesquemas alternativos deducidos en el periodo 1979-85

EA1: La fuerza es considerada como una propiedad ligada al cuerpo (Viennot, 1979). De este esquema podrían derivar los subesquemas siguientes:

- Los humanos, las máquinas y algunos objetos son centros de fuerza: noción antropomórfica de fuerza (Clement, 1973; Watts, 1983).
- Las fuerzas son obligaciones para realizar una acción en contra de alguna resistencia (Watts, 1983).
- La fuerza es una acción que realiza alguien o algo: la cantidad de fuerza es proporcional a la cantidad de actividad (Watts, 1983).

- Los objetos retenidos en una posición tienen fuerza (Watts, 1983).

EA2: Todo cuerpo en movimiento lleva asociado una fuerza (Viennot, 1979). De este esquema se derivan los subesquemas siguientes:

- Las fuerzas son necesarias para mantener un cuerpo en movimiento (Viennot, 1979).
- Si un cuerpo está moviéndose, existe una fuerza neta sobre él en la dirección del movimiento (Viennot, 1979)
- La fuerza es proporcional a la velocidad (si $V = 0 \Rightarrow F = 0$, incluso si $a \neq 0$; si $V \neq 0 \Rightarrow F = 0$, incluso si $a = 0$; si las velocidades son diferentes, las fuerzas son distintas, incluso si las aceleraciones son iguales) (Viennot, 1979).

- Cuando dos fuerzas se juntan, pueden combinarse para cambiar el movimiento de los objetos (Watts, 1983).

EA3: El cambio de velocidad es consecuencia de la fuerza (Viennot, 1979)

Esquemas o subesquemas alternativos deducidos en la década 1985-95:

Se ha encontrado el siguiente referido a situaciones físicas de lanzamiento o caída de objetos:

- Las fuerzas de rozamiento tienen un valor constante (Thijs, 1992).

De la comparación del catálogo de *esquemas alternativos* entre los dos periodos (1979-85 y 1985-95), se observa que la mayoría de ellos se hicieron explícitos en el primer periodo. En el segundo, se han ratificado y matizado, tal como se observa en los trabajos de Bohea (1990), Finegold y Gorsky (1991), Thijs (1992) y Kuiper y Mondlane (1994), los cuales utilizan semejantes hechos físicos que Viennot (1979) y Watts (1982 y 1983), y, por tanto, obtienen análogos resultados:

- a) Una crítica al esquema EA.2, por no ser un buen predictor para las situaciones físicas que se refieren a movimientos periódicos, lineales o tiro de proyectiles (Finegold y Gorsky, 1991).
- b) Estudios evolutivos, trabajos en los que se pone de manifiesto la evolución con la edad de los esquemas o subesquemas anteriores, que se han publicado en la década de 1985-95 (Reynoso et al., 1993; Bar et al., 1994).
- c) Matizan los EA.2 en el sentido de que sólo los alumnos más jóvenes presentan dicho esquema alternativo y también detectan que los estudiantes de mayor edad parecen poseer un conjunto de ideas sin mucha coherencia lógica (Kuiper y Mondlane, 1994).

Para el caso de lanzamiento o caída de objetos, los esquemas y subesquemas que se obtienen para la grave-

dad y conceptos con ella relacionados, en el periodo 1979-85, son los propuestos por Watts (1982) y Ruggiero y otros (1985, Tabla IV).

En el periodo 1985-95, los resultados que aparecen referidos al concepto de *gravedad* y conceptos con ella relacionados, van encaminados a matizar los esquemas o subesquemas ofrecidos por Watts (1982) y Ruggiero y otros (1985). Así, por ejemplo:

a) Noce y otros (1988) observan que los esquemas y subesquemas propuestos por Ruggiero y otros (1985) no se dan en sujetos con edades inferiores (8-12 años). Al utilizar muestras diferentes, observan la existencia de un modelo descriptivo y otro explicativo que utilizan los niños en sus respuestas acerca de la caída de objetos. De esta forma matizan, por ejemplo, el modelo explicativo geocéntrico propuesto por Ruggiero y otros (1985), que relaciona la fuerza de la gravedad con la Tierra, y proponen el esquema: La gravedad es la fuerza que hace que los objetos floten (definición tautológica).

b) Reynoso y otros (1993) realizan un estudio evolutivo y pueden detectar en qué edad aparecen los diferentes esquemas alternativos. Así, por ejemplo, encuentra que, entre los profesores de primaria, el esquema más frecuente es que digan que «la fuerza de la gravedad en la Tierra es mayor que en la Luna o que la fuerza de la gravedad en la Luna es cero».

c) Bar y otros (1994) realizan también un estudio evolutivo con una muestra de sujetos entre los 4 y 13 años, lo que les permite asociar las diferentes formas de explicar los hechos físicos presentados con la edad (Tabla IV).

De la comparación de los trabajos publicados en el primer periodo (1979-85) con los del segundo, referidos al concepto de *gravedad* y conceptos con ella relacionados, se observa que: a) la casi totalidad de esquemas y subesquemas aparece en los trabajos publicados en el primer periodo; y, b) los del segundo periodo progresan hacia estudios de carácter evolutivo, lo que implica un cambio metodológico y de objetivos en la investigación, al menos en lo que se refiere a la selección de la muestra.

Como se pone de manifiesto en el análisis de los EA para fuerza, gravedad y conceptos con ella relacionados, no parece deducirse que exista progresión en los resultados, así:

a) Los trabajos realizados con posterioridad a 1985 no parecen aportar datos novedosos en cuanto a posibles *esquemas alternativos* que tienen los alumnos con utilidad para la enseñanza. Incluso se podría afirmar que los trabajos anteriores a 1985 ofrecen resultados más extensos y de mayor argumentación que los realizados con posterioridad, a excepción de los hechos físicos, las cuestiones y muestras diferentes utilizadas.

b) El carácter empírico de los diferentes trabajos, si se comparan las dos décadas, es también análogo.

c) En la tabla IV se observa que los autores utilizan diferentes términos para referirse a análogos resultados. Así, por ejemplo, para referirse a que «el movimiento lleva asociado una fuerza», Viennot (1979) le llama noción de *fuerza de fuerza (supply of force)*; Watts (1983) y Boeha (1990), *fuerza móvil (motive forces)*; y Twigger y otros (1994), *fuerza conductora (driving force)*. Todo ello indica que, si se compara la terminología utilizada en los trabajos realizados en el periodo 1979-85 con los del periodo 1985-95, no se ha producido, en muchos casos, ni tan siquiera unanimidad en los términos a utilizar y menos aún en su significado (Jiménez Gómez, Solano y Marín, 1994). Y si esto es así, obviamente, cabe esperar que exista aún menor consenso en la metodología de investigación, así como en el contexto teórico que marque líneas de actuación en las búsquedas de «lo que el alumno sabe».

Se observa, desde el punto de vista metodológico, una tendencia entre los trabajos publicados en el segundo periodo, y para esta categoría, que se refiere al aumento de estudios evolutivos y los cambios que de ello se derivan.

Comparaciones entre los resultados obtenidos en los estudios categorizados como descriptivos relacionales (Tabla V)

No es frecuente realizar trabajos donde se relacionen las respuestas de los alumnos con sus manifestaciones cognitivas, y que han mostrado su relevancia en otros trabajos (nivel cognoscitivo, estilo cognitivo, nivel de inteligencia, etc.), como se pone de manifiesto en la reducida muestra que integra esta categoría. No obstante, se quiere indicar que, si en la selección bibliográfica hubiesen entrado revistas del ámbito de la psicología o sobre otro contenido objeto de enseñanza diferente, quizás los resultados hubiesen sido distintos, pero nosotros hemos contextualizado este trabajo en el ámbito de las revistas especializadas en el área de didáctica de las ciencias y para el concepto de fuerza.

La importancia de realizar estos estudios relacionales reside en la posibilidad de contrastar la coherencia y validez de la información obtenida del alumno con otros datos que sí parecen estar bien contrastados, así como analizar e interpretar las «ideas» de los alumnos de un modo más amplio y contextualizado, dado que la mejor descripción de la cognición del alumno no debe limitarse a dichas «ideas» (Marín, 1995). Sin embargo, ninguno de los trabajos analizados (en esto no se distinguen los trabajos del primer periodo de los del segundo) consigue estos objetivos, pues se limitan a establecer relaciones entre datos y a cruzarlos estadísticamente.

La ausencia del entramado teórico donde están implicados los factores cognoscitivos utilizados en los diferentes trabajos limita notablemente las conclusiones propuestas, quedando reducidas las posibilidades que ofrecen los trabajos enmarcados dentro de esta categoría. Así, las diferencias entre los trabajos de Selman y otros

(1982) y de Bar (1989), aun utilizando muestras de sujetos parecidas, los diferentes resultados que ofrecen, pensamos que se deben al tipo de categorización utilizada y las diferencias de los hechos físicos presentados.

CONCLUSIONES

De las comparaciones realizadas anteriormente se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. Si se aplica el criterio de Lakatos (se determina si una teoría es progresiva a través de su capacidad de predecir hechos nuevos o, lo que es lo mismo, si su desarrollo teórico anticipa su desarrollo empírico [1974, 1983]) a los estudios realizados sobre «lo que el alumno sabe» sobre fuerza, se puede observar que el movimiento de las concepciones alternativas *no presenta indicios de progresión*, al menos no se evidencia a través de los resultados ofrecidos por los diferentes trabajos seleccionados sobre fuerza, pues todos los trabajos, independientemente del periodo de publicación (1979-85 o 1985-95), presentan un carácter fundamentalmente empírico y no se aprecia que el desarrollo teórico se anticipe a los resultados.

2. En algunos aspectos, *se aprecia cierto progreso durante la última década (1985-95)* en la identificación y descripción de las respuestas de los alumnos acerca de las nuevas preguntas y situaciones físicas presentadas, pero no en cuanto a:

a) el número de esquemas alternativos que presentan los sujetos y que aparecen descritos en los trabajos publicados con anterioridad a 1985;

b) el carácter global con el que los sujetos interpretan los hechos físicos. Así, Viennot (1979) y Watts (1983) describen que los sujetos globalizan el concepto de fuerza con el de *energía y cantidad de movimiento*, pero este hecho posteriormente no se trabaja ni se intenta estudiar la posible psicogénesis del concepto de fuerza (como lo hace, por ejemplo, Piaget et al., 1973).

En sentido estricto, el criterio de Lakatos, tal y como se estableció, podría ser adecuado para evaluar el grado de progresión de las teorías científicas, por lo que, contrarios al trabajo de Gilbert y Swift, no debería aplicarse sobre el MCA, dado que esta corriente didáctica ni siquiera posee un entramado teórico que sirva como sustrato de las aportaciones empíricas, pues los trabajos sobre detección de «lo que el alumno sabe» sobre fuerza y conceptos con ella relacionados, que en el periodo inicial son marcadamente descriptivos y realizan la búsqueda de información exclusivamente determinada por el propio contenido objeto de búsqueda, continúan manteniendo estas características en el segundo periodo analizado (1985-95).

Podría mantenerse que el entramado teórico para delimitar las ideas previas del alumno lo constituyen los pro-

prios contenidos académicos pero, si esto es así, a la vista de los resultados obtenidos, todo parece indicar que los estudios de «lo que el alumno sabe» sobre fuerza es una línea de investigación que parece concluida, en la medida que no se pueden realizar nuevas aportaciones novedosas o que profundicen más en la cognición del alumno, por lo que habría que concluir que *el entramado teórico utilizado se podría considerar inadecuado*.

Esta sensación de techo hace pensar en la imposibilidad de continuidad, futuro y perspectiva. Sin embargo, pensamos que los trabajos que aquí se han seleccionado y analizado sólo constituyen una primera aproximación al problema de delimitar «lo que el alumno sabe», que han permitido al profesor cubrir, entre otros, los siguientes objetivos (Marín y Jiménez Gómez, 1992):

– *Mejorar la comunicación* entre los profesores y alumnos durante el desarrollo del acto didáctico (Driver, 1989).

– *Realizar nuevos diseños de enseñanza* (Osborne y Freyberg, 1985; Posner et al., 1982; Nussbaum y Novick, 1981, entre otros).

– *Generar una nueva perspectiva sobre el aprendizaje* (Driver y Oldhan, 1985; Glaser y Bassok, 1989, entre otros).

– *Ayudar a conocer mejor los procesos de aprendizaje*.

– *Servir de guía para la investigación educativa*, incluso si se trabaja en un contexto externo a los procesos cognitivos.

– *Ayudar al profesor a interpretar los sucesos que tienen lugar en el aula*, especialmente en la toma de decisiones.

A pesar de estas mejoras, es posible progresar si se hace una revisión de cuál es la información que se puede obtener del alumno de interés didáctico y, a la vez, se utilizan contextos teóricos que permitan un mayor acercamiento a la realidad cognoscitiva del alumno, lo que llevaría necesariamente a un cambio metodológico en la búsqueda de esta información.

Al fin y al cabo, no se puede negar que la búsqueda de «lo que el alumno sabe» se hace con el objetivo primordial de acomodar los diseños de enseñanza a sus peculiaridades cognoscitivas y, en tanto se obtenga una información más cercana a estas peculiaridades, los diseños de enseñanza quedarán más acomodados y consecuentemente se incrementará la eficacia didáctica.

Se podría entonces pensar que la información que aportan los diferentes trabajos seleccionados sobre el alumno es suficiente para realizar diseños de enseñanza, pero pensamos que habría que dudar de la eficacia didáctica de estos diseños, puesto que los resultados a los que llegan están excesivamente mediatizados por la lógica del contenido académico objeto de búsqueda, pues no se deben olvidar las importantes diferencias que suelen existir entre el contenido académico y el del alumno (Marín y Jiménez Gómez, 1992).

Creemos que habría que abordar los estudios sobre «lo que el alumno sabe» desde una perspectiva más amplia, que permitiera determinar al educador:

a) los momentos claves (edad, por ejemplo) en los cuales los alumnos pasan de la globalización del concepto de fuerza a su diferenciación, por lo que sería necesario realizar estudios de carácter evolutivo, relativos a dicho concepto;

b) las limitaciones y capacidades cognitivas de los sujetos para aprender un determinado concepto, en este caso el de fuerza y conceptos con ella relacionados;

c) tratar de ajustar las actividades de enseñanza a las características cognitivas, motivacionales y afectivas del alumno; hecho que sólo es posible realizar si se conoce del sujeto toda aquella información significativa del alumno de interés didáctico, tanto si está relacionada con el contenido académico como si no lo está (Marín, 1984).

Llegar a solucionar los puntos anteriores requiere, previamente, que los educadores e investigadores clarifiquen cuestiones elementales y útiles de cara a conseguir una progresión en este tipo de estudios (¿qué entiende cada educador o investigador por «lo que el alumno

sabe» sobre un determinado contenido de enseñanza?); ¿qué marco teórico es el más adecuado para realizar este tipo de trabajos?; ¿qué metodología es la más adecuada?; etc.), en vista de lo cual, no parece que la afirmación «el catálogo de concepciones sea bastante completo por lo que habría que dedicar los esfuerzos en otras direcciones» sea acertada.

Para finalizar, habría que decir que es necesario realizar un estudio profundo acerca de las metodologías y marcos teóricos que subyacen en los trabajos seleccionados, y que han constituido la base de nuestro análisis, para, a partir de aquí, intentar hacer confluír lo que otros educadores e investigadores han reclamado (López Rupérez, 1990), la necesidad de realizar una reflexión teórica, respecto a los paradigmas educativos que han surgido de la filosofía de la ciencia en la tradición del cambio conceptual y de la psicología genética, dando lugar a un nuevo programa de investigación más fructífero y mejor fundamentado teóricamente (Marín, 1994).

NOTA

El presente trabajo ha sido financiado por la DGICYT como parte del proyecto PS93-0174 del Programa Sectorial de Promoción General del Conocimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIMBOLA, I.O. (1988). The problem of terminology in the study of student conceptions in Science. *Science Education*, Vol. 72(2), pp. 175-184.
- ACEVEDO, J.A., BOLÍVAR, J.P., LÓPEZ MOLINA, E.J. y TRUJILLO, M. (1989). Sobre las concepciones en dinámica elemental de los adolescentes formales y concretos y el cambio metodológico, *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 7(1), pp. 27-34.
- BAR, V. (1989). Introducing mechanics at the elementary school. *Physics Education*, Vol. 24, pp. 348-352.
- BAR, V., ZINN, B., GOLDMUNTZ, R. y SNEIDER, C. (1994). Children's concepts about weight and free fall. *Science Education*, Vol. 78(2), pp. 149-169.
- BOEHA, B.B. (1990). Aristotle, alive and well in Papua New Guinea science classrooms. *Physics Education*, Vol. 25, pp. 280-283.
- BROWN, D.E. (1989). Students' concept of force: the importance of understanding Newton's third law. *Physics Education*, Vol. 24, pp. 352-358.
- BUNGE, M. (1981). *La investigación científica*. Ariel: Barcelona.
- CARMICHAEL, P. et al. (1990). *Research on students' conceptions in science: a bibliography*. Children's learning in Science: University of Leeds.
- CLEMENT, J., BROWN, D.E. y ZIETSMAN, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: finding «anchoring conceptions» for grounding instruction on students' intuitions. *International Journal of Science Education*, Vol. 11, núm. especial, pp. 554-565.
- CONFREY, J. (1990). *A Review of the Research on Student Conceptions in Mathematics, Science and Programming*, pp. 3-56, en C. Cazden (eds.). American Education Research Association. Michigan State University. Review of Educational Research.
- DRIVER, R. y OLDFHAM, V. (1985). *Constructivist Approach to Curriculum Development in Science*. Paper prepared for the Symposium. Personal Construction of Meaning in Educational Settings. Bera, Sheffield.
- DRIVER, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International Journal of Science Education*, Vol. 11, núm. especial, pp. 481-490.
- FINEGOLD, M. y GORSKY, P. (1991). Students' concepts of force as applied to related physical systems: A search for consistency. *International Journal of Science Education*, Vol. 13(1), pp. 97-113.
- GALILI, I. (1993). Weight and gravity: teachers' ambiguity and students' confusion about the concepts. *International Journal of Science Education*. Vol. 15(2), pp. 149-162.
- GALILI, I. y BAR, V. (1992). Motion implies force: where to expect vestiges of the misconception? *International Journal of Science Education*, Vol. 14(1), pp. 63-81.
- GILBERT, J.K. y SWIFT, J. (1985). Towards a Lakatosian analysis of the Piagetian and alternative conceptions research programs. *Science Education*, Vol. 69(5), pp. 681-696.
- GLASER, R. y BASSOK, M. (1989). Learning Theory and the Study of Instruction. *Ann. Rev. Psychol.* 40. pp. 631-666.

- GÓMEZ, M.A., POZO, J.I., SANZ, A. y LIMÓN, M. (1992). La estructura de los conocimientos previos en química: una propuesta de núcleos conceptuales. *Investigación en la Escuela*, 18, pp. 23-40.
- GUNSTONE, R.F. y WHITE, R.T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education*, Vol. 65(3), pp. 291-299.
- GUNSTONE, R.F. y WHITE, R.T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education*, Vol. 65(3), pp. 291-299.
- HASHWEH, M.Z. (1988). Descriptive studies of students' conceptions in science. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 25(2), pp. 121-134.
- HELM, H. (1980). Misconceptions in physics amongst South African students. *Physics Education*, Vol. 15, pp. 92-105.
- IVOWI, U.M.O. (1984). Misconceptions in physics amongst Nigerian secondary school students. *Physics Education*, Vol. 19, pp. 279-285.
- JIMÉNEZ GÓMEZ, E., SOLANO, I. y MARÍN, N. (1994). Problemas de terminología en estudios realizados sobre «lo que el alumno sabe» en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 12(2), pp. 235-245.
- KUHN, T.S. (1981). *La estructura de las revoluciones científicas*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- KRUGER, C., PALACIO, D. y SUMMERS, M. (1992). Surveys of English Primary Teachers' Conceptions of Force, Energy and Materials. *Science Education*, Vol. 76(4), pp. 339-351.
- KUIPER, J. y MONDLANE, E. (1994). Student ideas of science concepts: alternative frameworks? *International Journal of Science Education*, Vol. 16(3), pp. 279-292.
- LAKATOS, I. (1974). Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales. Madrid: Technos.
- LAKATOS, I. (1983). La metodología de los programas de investigación científica. Madrid: Alianza Universitaria.
- LÓPEZ RUPÉREZ, F. (1990). Epistemología y didáctica de las ciencias. Un análisis de segundo orden. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 8(1), pp. 65-74.
- MALONEY, D.P. (1984). Rule-governed approaches to physics-Newton's third law. *Physics Education*, Vol. 19, pp. 37-42.
- MARÍN, N. (1994). Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- MARÍN, N. (1995). *Metodología para obtener información del alumno de interés didáctico*. Servicio de Publicaciones de Almería. Universidad de Almería.
- MARÍN, N. y BENARROCH, A. (1994). A comparative study of Piagetian and constructivist work on conceptions in science. *International Journal of Science Education*, Vol. 16(1), pp. 1-15.
- MARÍN, N. y JIMÉNEZ GÓMEZ, E. (1992). Problemas metodológicos en el tratamiento de las concepciones de los alumnos en el contexto de la filosofía e historia de la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 10(3), pp. 335-339.
- MONTANERO, M. y PÉREZ, A.L. (1995). A survey of students' understanding of colliding bodies. *Physics Education*, Vol. 30(5), pp. 277-283.
- NOCE, G., TOROSANTUCCI, G. y VICENTINI, M. (1988). The floating of objects on the moon: Prediction from a theory or experimental facts? *International Journal of Science Education*, Vol. 10(1), pp. 61-70.
- NUSSBAUM, J. y NOVICK, S. (1981). Brainstorming in the classroom to invent a model: a case study. *School Science Review*, 221, p. 62.
- OSBORNE, R. y FRYBERG, P. (1985). *Learning in Science. The implication of children's science*. Londres: Heineman.
- PIAGET, J. et al. (1973). *La formation de la notion de force*. París: PUF.
- POSNER et al. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, Vol. 66, pp. 211-227.
- REYNOSO, H.E., ENRIQUE FIERRO, H., GERRDOTORRES, O., VICENTINI-MISSONI, M. y PÉREZ DE CELIS, J.H. (1993). The alternative frameworks presented by Mexican students and teachers concerning the free fall of bodies. *International Journal of Science Education*, Vol. 15(2), pp. 127-138.
- RUGGIERO, S., CARTELLI, A., DUPRE, F. y VICENTINI-MISSONI, M. (1985). Weight, gravity and air pressure: Mental representations by Italian middle school pupils. *European Journal of Science Education*, Vol. 17(2), pp. 181-194.
- SELMAN, R.L., KRUPA, M.P., STONE, C.R. y JAQUETTE, D.S. (1982). Concrete operational thought and the emergence of the concept of uscen force in children's theories of electromagnetism and gravity. *Science Education*, Vol. 66(2), pp. 181-194.
- TERRY, C. y JONES, G. (1986). Alternative frameworks: Newton's third law and conceptual change. *European Journal of Science Education*, Vol. 8(3), pp. 291-298.
- TERRY, C., JONES, G. y HURFORD, W. (1985). Children's conceptual understanding of forces and equilibrium. *Physics Education*, 20, pp. 162-165.
- THIJS, G.D. (1992). Evaluation of an Introductory Course on «Force» considering students' preconceptions. *Science Education*, 76(2), pp. 155-174.
- TWIGGER, D., BYARD, M., DRIVER, R., DRAPER, S. et al. (1994). The conception of force and motion of students aged between 10 and 15 years: an interview study designed to guide instruction. *International Journal of Science Education*, Vol. 16(2), pp. 215-229.
- VIENNOT, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, Vol. 1(2), pp. 205-221.
- VILLANI, A. y PACCA, J. (1990). Conceptos espontáneos sobre colisiones. *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 8(3), pp. 238-243.
- WATTS, D.M. (1982). Gravity-don't take it for granted. *Physics Education*, Vol. 17, pp. 116-121.
- WATTS, D.M. (1983). A study of schoolchildren's alternative frameworks of the concept of force. *European Journal of Science Education*, Vol. 5(2), pp. 217-230.
- WATTS, D.M. y ZYLBERSZTAJN, A. (1981). A survey of some children's ideas about force. *Physics Education*, Vol. 16(6), pp. 360-365.
- WATTS, D.M. (1983). A study of schoolchildren's alternative frameworks of the concept of force. *European Journal of Science Education*, Vol. 5(2), pp. 217-230.

[Artículo recibido en abril de 1996 y aceptado en abril de 1997.]