

Marín, N. y Benarroch, A. (1994). A comparative study of Piagetian and constructivist work on conceptions in science. *International Journal of Science Education*, 16(1), pp. 1-15.

Resumen:

Se compara las aportaciones más empíricas que la teoría de Piaget y el movimiento de las concepciones alternativas han realizado sobre dos tópicos:

- a) Fuerza mecánica
- b) Naturaleza corpuscular de la materia

Se aprecia que, a pesar de las insistentes críticas del MCA a la teoría piagetiana y desconsiderarla en sus investigaciones sobre concepciones, los experimentos piagetianos realizados 20 años atrás contienen aportaciones sobre "lo que el alumno sabe" en los dos tópicos estudiados que igualan o superan las realizadas con posterioridad. Esto permite poner en tela de juicio el talante científico del MCA.

1. Introducción

Desde que Gilbert y Swift (1985) formularon las características de un nuevo programa de investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales, denominado Movimiento de las Concepciones Alternativas (MCA), parecen haber acertado en que el paradigma de la Escuela Piagetiana suponía un programa regresivo, dada la escasa atención, cada vez menor, que se ofrece a la obra de Piaget. En efecto, paralelamente a la emergencia del MCA como línea de investigación paradigmática en el dominio de la Enseñanza de las Ciencias (Linn, 1987; Novak, 1988; Aliberas y otros, 1989), se ha creado por parte de un número importante de investigadores un rechazo tajante de los planteamientos piagetianos, donde incluso una asimilación parcial de su trabajo parece ser imposible (Perales, 1990) o no conveniente (Millar, 1989).

Nosotros, sin embargo, pensamos que una tarea que se preste de ser científica o que tenga intención de llegar a adquirir este calificativo, debería analizar seriamente cuáles son los éxitos previos del programa antiguo que, no habiendo sido refutados, deberían por tanto ser explicados por el nuevo (Lakatos, 1983). Únicamente después de este proceso cabría tomar una resolución de rechazo tajante, si fuera consecuente, o bien continuar con el pluralismo paradigmático, sin rechazar la postura que nos parece más racional de insertar dentro de nuevos términos la manera de refundir los alcances de ambos.

En este sentido, es curioso observar que trabajos que describen concepciones sobre tópicos similares a los tratados por Piaget, no consideran sus resultados, cuando aparecen referencias a un buen número de trabajos de otros autores.

Nuestra intención, en este artículo, es la de analizar si hubiera sido procedente por parte del movimiento de las concepciones alternativas haber considerado y, en su caso, asimilado determinadas partes de la obra piagetiana, o si, por el contrario, la incursión de dichas aportaciones en los trabajos que definen al M.C.A, no hubiera sido significativa, extremo que explicaría la escasa consideración que se le ha otorgado.

También es de nuestro interés, en caso de concluir que hubiera sido positivo la inclusión de las aportaciones de este autor, discurrir sobre las razones que han podido llevar a su desconsideración.

2. Limitaciones de las críticas piagetianas

Desde 1923 que publicó su primer trabajo en Psicología, hasta mediados de la década de los 70, Piaget produjo una amplia obra, dedicada tanto al desarrollo de su teoría del conocimiento como a la obtención de datos empíricos a través de entrevistas individuales con niños y adolescentes, y parte de la misma con la colaboración del equipo de investigadores del Centro de Epistemología Genética (Bringuier, 1977)

Respecto a su teoría, es frecuente tacharla de ser limitada para poder ser aplicada en situaciones concretas de enseñanza-aprendizaje (Giordan y De Vecchi,1987; Seré, 1990) ya que tiene como objeto de estudio al "sujeto epistémico" con el fin de sacar a la luz las leyes más universales relativas al desarrollo intelectual, lo que permite prever exclusivamente los mecanismos generales que rigen la apropiación de los conocimientos. Al poner énfasis en estos mecanismos fundamentales del conocimiento, se le achaca no contemplar suficientemente los procesos específicos y las condiciones de apropiación para cada campo concreto del saber (Giordan y De Vecchi,1987).

Asimismo, los estadios del desarrollo cognoscitivo han sido motivo de diversas críticas. Por ejemplo, se ha señalado que sólo tienen una validez descriptiva, aunque no sean la caracterización funcional más útil de los procesos de aprendizaje cognitivo (Novak,1982), o que, con ellos, Piaget "enfatisa los estados de equilibrio finales, en detrimento de los aspectos dinámicos, que son los únicos que pueden explicar las progresiones en la comprensión de un sujeto" (Giordan y De Vecchi, 1987). Sin embargo, las críticas más frecuentes son las que llegan a rechazar las etapas mentales piagetianas por los "decalages" o desfases tanto verticales como horizontales (Driver, 1978 y 1990; Pozo y Carretero, 1987). La no universalidad de las estructuras formales y más aún la comprobación de que en la resolución de tareas no influye sólo la estructura

lógica del problema sino también el contenido a que se refiere dicho problema, ha puesto en duda la coherencia, e incluso existencia, de dichas etapas.

Desde otra perspectiva, Gilbert y Swift (1985) también se apuntaron a este movimiento crítico. Al aplicar los criterios lakatosianos sobre la "Escuela de Piaget", considerada como programa de investigación en competencia con el que ellos bautizan como "movimiento de las concepciones alternativas", concluyen que el primero es un paradigma regresivo frente al segundo que, aun siendo joven, tiene visos de progresividad. Los argumentos que exponen no se fundamentan en las críticas anteriores sobre la secuenciación e identidad de las etapas y transiciones entre ellas, aunque éstas sean recogidas, sino en el hecho de que "los trabajos dentro del programa, y especialmente las tecnologías piagetianas, no demuestran progresos teóricos, no predicen hechos nuevos, no dan lugar, en fin, a un cambio progresivo de problemática". Por el contrario, "han ido introduciendo explicaciones posteriores que no han favorecido el crecimiento teórico".

Hemos sintetizado las críticas más frecuentes a la Escuela Piagetiana, no porque nuestra intención sea polemizar sobre la validez de las mismas, extremo que ya ha sido realizado por otros autores (Adey, 1987; López Rupérez, 1990, Herron, 1978), sino por hacer unas consideraciones que nos parecen importantes: siendo numerosas, estas críticas se concentran sobre determinadas partes del entramado teórico, y ninguna pone en entredicho, al menos, dos tipos de aportaciones. En primer lugar, aquéllas referentes a su metodología, como es la reiterada exaltación de la utilidad de la entrevista clínica en la búsqueda de concepciones espontáneas, incluso por algunos de los protagonistas principales de sus críticas teóricas (Novak y Gowin, 1988). En segundo lugar, las aportaciones piagetianas realizadas a nivel empírico, es decir, aquéllas derivadas de sus experimentos con niños sobre un gran número de situaciones físicas.

En efecto, existe una ingente cantidad de datos empíricos que ponen de manifiesto una diversidad de reacciones de los sujetos ante situaciones problemáticas de Ciencia. Aunque la actitud final de Piaget fuese subordinar dichas reacciones a la etapa correspondiente de desarrollo intelectual, este marco teórico no es obstáculo para reconocer la importancia del contenido físico en las respuestas de los alumnos (sirva como ejemplo la conocida adquisición sucesiva de las nociones de conservación de la sustancia, peso y volumen). Siempre podríamos hacer una lectura de esta jerarquización como una descripción evolutiva de las nociones de los sujetos cosa que, en el caso del movimiento de las concepciones alternativas, también se hace frecuentemente (Nussbaum y Novak, 1976).

Es en este nivel menos criticado en el que nos situamos para realizar este trabajo.

Hemos de puntualizar que referente al contenido físico de las investigaciones, Piaget estaba interesado por contenidos que, aparentemente, no son académicos, esto es, que, por ser básicos, suelen ser considerados como destrezas inherentes a toda la actividad en la ciencia escolar. Si este enfoque ha sido duramente criticado por la falta de aplicabilidad a la enseñanza de las Ciencias (Millar y Driver, 1987), también es cierto el peligro que conlleva lo contrario pues, usando términos constructivistas, "en el enfoque temático se concibe la tarea como un extracto de las ideas más importantes de los libros de texto de ciencias que representan el esta maduro de la disciplina. El peligro de este enfoque reside en que centra la atención en aspectos avanzados del concepto, mientras se dejan de lado o se dan por sabidas la identificación y la caracterización de su misma esencia. Y así, esta esencia puede resultar inadecuadamente tratada en la enseñanza" (Nussbaum, 1989). Ciertamente, estas "esencias" no se identifican exclusivamente con ningún contenido académico pero podrían ser la base sobre la que se construyen las concepciones inducidas o analógicas (Pozo, 1991) más relacionadas directamente con los contenidos propiamente académicos.

3. Consideraciones metodológicas.

Aunque hay quienes dicen que la principal diferencia entre el trabajo de la Escuela Piagetiana y del Movimiento de las Concepciones Alternativas estriba en el abandono de las etapas por parte de este último (Gilbert y Swift, 1985), nosotros, como hemos pretendido mostrar en el apartado anterior, creemos que las diferencias son mayores por cuanto que afectan también a la metodología y contenidos investigados. A pesar del gran pluralismo metodológico existente dentro del mismo constructivismo, y aceptando por tanto que la amplitud de estas diferencias con la Escuela Piagetiana estará en función de investigaciones puntuales, si pretendemos globalizar, no nos queda otra opción que reconocerlas y tenerlas en cuenta. De ahí que tengamos que situarnos en los términos de uno de los dos programas a la hora de hacer comparaciones, aunque éstas sean de carácter empírico. De lo contrario, estaríamos también haciéndolo aunque implícitamente.

Ahora bien, si aceptáramos los términos de la Escuela Piagetiana para nuestro propósito, y pretendiéramos analizar por ejemplo el grado de asimilación de los trabajos empíricos piagetianos referidos a conservación de cantidades continuas por parte de los trabajos del MCA, siempre se podría replicar que estas "destrezas" no son objetivos de este último programa, sino que, está interesado por contenidos específicos y académicos. Evitando estos problemas, utilizaremos los términos del Movimiento de las Concepciones Alternativas y, para que se vea más claro, veremos en qué grado se han tenido en cuenta los trabajos empíricos piagetianos en dos tópicos típicamente constructivistas como

son "la noción de fuerza" y "la naturaleza corpuscular de la materia". Nótese que si bien el primero ha sido de interés para los propósitos piagetianos, no así el segundo que solo fue considerado en su versión más simple de atomismo.

Por tanto, analizar el grado en que los trabajos empíricos piagetianos han sido asimilados por el movimiento de las concepciones alternativas, aceptando de entrada las críticas a su teoría de etapas, exige situarnos en el paradigma de este último programa y desde él, de forma pragmática ir señalando los aspectos que han podido ser obviados del primero.

El restringir el análisis comparativo a un plano empírico y dado que las aportaciones piagetianas son más de carácter teórico, estamos obligados a realizar un proceso de **diferenciación** y posteriormente otro de **elección** de esta obra a fin de realizar una comparación adecuada. Según Shayer y Adey (1984) y nuestra apreciación, en el trabajo de Piaget se pueden distinguir tres planos: a) comentarios de las reacciones de la muestra a las situaciones problemáticas planteadas en la entrevista clínica, b) interpretación de los datos descritos en a) utilizando su teoría del conocimiento y c) los argumentos teóricos entresacados de las interpretaciones. Por las razones dadas en los párrafos anteriores, para llevar a cabo nuestro estudio comparativo, **extraeremos argumentos sólo al plano de las reacciones típicas de los sujetos**, es decir, nos situaríamos en el plano más empírico de la teoría de Piaget.

Asimismo, en lo referente a los trabajos del MCA, es frecuente, una vez delimitadas y descritas las concepciones, utilizar esta información para realizar una serie de **implicaciones didácticas**, las cuales, en este trabajo, no van a ser tenidas en cuenta. Se ha procurado realizar una selección de trabajos constructivista, tomando como criterio, aquéllos que con mayor frecuencia son citados desde 1980 y que, lógicamente, versan sobre dichos tópicos elegidos.

4. Breve reseña sobre la metodología piagetiana y constructivista

Hemos de tener en cuenta que la búsqueda piagetiana de reacciones de los niños a problemas planteados, no era realizado con el mismo objetivo que el utilizado por el movimiento de las concepciones alternativas, así mismo el tratamiento de los datos es realmente diferente en ambos, por todo ello, y teniendo en cuenta que de algún modo algunos datos se tendrán que sacar de su contexto, a fin de que se pueda evaluar en su justa medida las aportaciones sobre concepciones de ambas tendencias, hemos querido realizar, sin pretensiones de revisión exhaustiva, **una breve exposición de metodologías** utilizadas en la consecución de datos empíricos del alumno, con el convencimiento de que estamos haciendo una primera aproximación, ya que un trabajo más profundo exigiría una revisión bibliográfica más extensa.

4.1. Metodología piagetiana

Los experimentos piagetianos presentan una gran regularidad en el planteamiento y desarrollo de éste para la **obtención de datos** que pasamos a describir brevemente: cada experimento viene precedido por una declaración de intenciones donde se explica cuál es el objetivo que persigue, el porqué se utiliza una determinada estrategia experimental o como está relacionado con otros experimentos, se sigue con una descripción del material utilizado, el modo de proceder en su manipulación y de las cuestiones que inicialmente se plantean al sujeto, que es seguida, generalmente, por una conversación entre entrevistador y sujeto, donde subyace casi siempre la misma dinámica: primero se plantea verbalmente que se pretende hacer y se solicita previsiones, después de ejecutar el experimento, se le pide nuevas explicaciones, y dependiendo de las respuestas, esta dinámica se puede reiterar, si bien, bajo diferentes perspectivas o bajo otro tipo de manipulación del material que ponga en juego determinadas variables, procurando en todo momento que el entrevistado pueda expresarse con libertad sin que exista ningún tipo de inducción sobre el entrevistado.

En una primera revisión, se aprecia que sistemáticamente se **ordenan los datos** obtenidos según sea el tipo de pregunta en:

- a) **Reacciones preoperatorias**, caracterizadas por una ausencia de reversibilidad operatoria y por tanto, por un predominio de lo figurativo sobre otras variables más estructurales.
- b) **Reacciones operatorias**, cuando las variables que se ponen en juego son estructuradas operatoriamente y por tanto existe una capacidad transformadora que permite una lectura que va más allá de los datos perceptivos. De modo que cada nivel cognoscitivo le sirve de contexto para valorar las reacciones del sujeto, si se admite la analogía, de forma semejante a como el historiador analiza el desarrollo de las ideas científicas, dentro del contexto histórico y paradigmático de la época.

Por lo general, los niveles encontrados para los distintos experimentos, coinciden con los niveles operatorios (Piaget, 1973a, pp.10-1), si bien, hemos podido constatar que este punto de vista suponer forzar los datos excesivamente (Marín, 1989).

4.2. Metodología constructivista

Hay que indicar, en primer lugar, la gran diversidad encontrada de propósitos iniciales, de metodologías, de tratamientos de datos y sobre todo de descripción e interpretación de estos, que denota a su vez que cada investigador utiliza sus propios esquemas cognoscitivos, sin una referencia teórica común.

El número de trabajos sobre la noción de fuerza es numeroso, en un índice compilatorio de obras del MCA (Carmichael, 1990) se presentan más de 50.

Es difícil trazar unas características metodológicas para el constructivismo ya que "sólo en ocasiones los diversos autores arrancan de los mismos puntos de salida o de los mismos supuestos subyacentes..., ...hay considerables diferencias entre los diversos trabajos realizados, diversidad de opiniones en psicología, filosofía y metodología" (Gunstone y Watts, 1989), en este sentido se manifiesta Hewson (1990) que critica este modo de proceder dispersivo y sugiere un mínimo de consideraciones metodológicas a tener en cuenta en este tipo de trabajos.

Las técnicas para la **recogida de datos** es muy variada y va desde las entrevistas clínicas hasta las pruebas de lápiz y papel, pasando por la técnica de tarjetas, pruebas de opciones múltiples, etc,

Parece haber una tendencia convergente en la **ordenación de datos**, a través de tablas de frecuencia o simplemente porcentajes, utilizando los resultados de los distintos problemas planteados (Brown,1990; Clement,1982; Watts y Zylbersztajn, 1981) y en menor medida, mediante categorías previamente establecidas sobre tipos de respuestas (Boyle y Maloney,1990; Nussbaum,198).

En cuanto a las aportaciones empíricas, debido a la gran disparidad de datos, hemos optado por considerar las aportaciones empíricas más importantes para continuar realizando un tratamiento más diferenciado y particular de cada autor.

5. Resultados empíricos sobre la noción de fuerza

4.1. Aportaciones piagetianas

La concepción de fuerza en **situaciones dinámicas**, se pueden entrever en bastantes tareas, de las cuales nos centramos en dos (Piaget, 1973b), uno consistente en cajas que recorren diferentes trayectos con contrapesos (pp.9-54) y otro donde una, dos o varias bolas golpean a un grupo determinado de bolas que están suspendidas en línea (pp.55-94).

En el **nivel IA**, la acción se asimila con **el esfuerzo a realizar** que le lleva a previsiones incoherentes sujetas a las circunstancias figurativas del momento en que se ejerce. La bola posee poderes o cualidades inherentes. Ya en el **nivel IB** la acción adquiere un significado más objetivo, entendiendo que el esfuerzo es el mismo cuando desplazamos más peso un espacio menor que cuando desplazamos menos peso en un trayecto más largo.

En el **nivel II**, si las acciones se hacen en tiempos iguales, compensa el esfuerzo con el camino recorrido, si es a espacios iguales, el esfuerzo es compensado con el tiempo de actuación, así un fuerte empuje dado en un instante es equivalente a otro menor dado en más tiempo. La subida de una sola bola se explica por el

impulso adquirido por la otra en la bajada, lo que muestra una continuidad de éste. Hay relación y diferenciación de la fuerza con la velocidad y el impulso, pero sin aclarar quien precede a quien. Aún el movimiento o la velocidad constituyen por si mismos una fuerza.

Finalmente, en el **nivel III** se cuantifica el esfuerzo, la bajada de la bola que golpea está definida por una aceleración regular y por la conservación del peso y por tanto de la acción de éste que es causa del movimiento, siendo la aceleración el factor que varía, ideas que apuntan hacia la expresión $f=ma$.

Concluyendo, la evolución de la noción de fuerza está jalonada por diferenciaciones y coordinaciones de caracteres inicialmente indiferenciados (Piaget, 1973a, p.70), por ejemplo, inicialmente la **masa y el movimiento** poseen **fuerza** y es después de ser diferenciados cuando es posible una síntesis en la expresión formal $f=ma$.

Las características de la noción de fuerza en **situaciones estáticas**, las vamos a tratar en dos grupos, según la interrelación de las ideas del sujeto, en el primer grupo se deja entrever concepciones que están relacionadas principalmente con conceptos académicos como son el de **fuerza, composición de éstas y acción y reacción**, y en el segundo, las concepciones está relacionadas con los conceptos de **momento** y de **centro de masa**.

El **grupo nº 1** está constituido por experimentos donde se pone en juego *fuerzas son concurrentes*, en concreto, hemos tenido en cuenta tres experimentos (Piaget, 1975, pp.29-45, pp.56-74, pp.75-90), donde se ponen en juego interacciones de un peso con un elástico y de tres pesos que concurren entre sí, en vertical y en horizontal.

El **nivel I** se caracteriza porque no prevén los efectos, así cuando se adicionan pesos el resultado del esfuerzo común de n acciones, es superior al de n acciones yuxtapuestas, se intenta compensar 50g con 5g o con 100g, y cuando se modifican dos pesos a la vez, sugieren extrañas trayectorias. Hacen depender los efectos del aspecto figurativo, así un peso tira más cuanto más bajo esté o cuanto más largo sea el hilo que lo sujeta. Las fuerzas existen sólo en estado de movimiento. El peso es apto para empujar, propulsar, sujetar, tirar, etc.

En el **nivel II** el sujeto conserva el peso frente a los cambios de posición, lo que le lleva a prever correctamente en la aditividad de pesos. El equilibrio se explica por el hecho de que un peso no puede seguir tirando si hay otros que lo sujetan, de modo que un peso o "tira" o "sujeta". También prevén determinadas composiciones de fuerza sencillas y donde existe alguna simetría, pero no son capaces de generalizar. El movimiento sigue siendo el indicador para captar fuerzas.

El **nivel IIB** presentan algunos retrocesos debido al nuevo papel dinámico que se le da al peso.

Finalmente, los logros operatorios del **nivel III**, lleva a comprender las situaciones de equilibrio planteadas, así la acción del peso, explicará simultáneamente el descenso de un cuerpo y la tracción sobre el elástico, una fuerza continúa existiendo y actuando, incluso cuando no hay movimiento. Gracias a que componen formalmente y de forma simultánea las acciones de las fuerzas, son capaces de prever cuando actúan varias fuerzas en distintas configuraciones más o menos complejas.

El **grupo 2** lo constituyen situaciones experimentales donde *existe una distancia entre el punto de ejecución de la fuerza y allí donde se produce el efecto* (Piaget, 1973a).

En el **nivel I** prevén el punto de equilibrio de objetos geométricos sencillos que posean cierta simetría, con argumentos relativos a factores figurativos o geométricos, nunca al peso. Se observan otras intuiciones si se les pide sujetar un tablero con unos tacos de madera a modo de patas, como que el equilibrio es más precario o nulo si las patas están "apretadas" o "en línea", o cuando se les pide suspender una cesta desplegable, utilizando contrapesos muy ligeros como ganchos, reglas, lápices, etc, que denota una ausencia de valoración objetiva de las fuerzas puestas en juego.

Los sujetos del **nivel II** se refieren espontáneamente al peso para indicar que la parte de la regla que sobresale pesa más y por ellos arrastra al resto a la caída, sin embargo no captan el efecto de los pesos sobreañadidos según la distancia al centro de la regla. Se aprecia intuiciones para cuerpos planos de que el "centro" está donde se dejan porciones de peso iguales a ambos lados, pero no se entreve esquemas generales que los puedan utilizar para cada nueva situación creada por ventosas a modo de contrapesos. Sin embargo, en la tarea sobre la sujeción del tablero con bloques no se utiliza causalmente el peso, si bien se comprende la necesidad de una superficie de sustentación, siendo ésta mejor si es extensa y bien centrada, y en la tarea de retener una cesta, se entiende que es necesario que el objeto que hace de gancho no sea arrastrado por el peso de la cesta, pero parten de pesos insuficientes.

Es en el **nivel III** cuando el sujeto utiliza esquemas generales para resolver los problemas de equilibrio, de modo que compone porciones para intuir el centro de masa, aunque no de un modo totalmente cuantitativo como es de suponer, ya que no llega a la noción cuantitativa de momento y si a intuiciones para compensar no sólo el peso sino el lugar donde está aplicado que le aporta notables aproximaciones de la solución, si bien para el caso sencillo de la regla, el sujeto entreve la ley de las palancas bajo su forma métrica de una igualdad de productos de fuerza por brazo. Comprenden la función del punto intersección de líneas de equilibrio como centro de gravedad del cuerpo.

4.2. Aportaciones del MCA

1. La noción que el alumno posee de fuerza está asociada con el movimiento, por lo que una velocidad constante requiere una fuerza constante, (Brown, 1989; Gamble, 1989; Watts y Zylbersztajn, 1981) y la fuerza crea movimiento en la misma dirección que el movimiento (Gunstone y Watts, 1989), así cuando un cohete que marcha a velocidad constante por el espacio orientado perpendicular a su trayectoria y por un breve momento enciende sus motores, los alumnos tienden a dibujar una trayectoria rectilínea, unos perpendicular y otros oblicua a la trayectoria, después, con los motores apagados, el cohete sigue una trayectoria paralela a la que traía antes de encenderlos (Clement, 1982). La fuerza que actúa sobre un coche que describe una trayectoria circular a velocidad constante, es dibujada tangente a la trayectoria por un 40% de alumnos (Warren, 1979).

2. En situaciones estáticas, consecuentemente con las nociones precedentes, los alumnos tienen bastante dificultades para detectar las fuerzas actuantes (Gilbert, Watts y Osborne, 1982). Por ejemplo, sobre un cuerpo apoyado en una mesa, no actúa fuerza alguna o sólo admiten la existencia de la fuerza peso (Clement, 1982). Esta dificultad fue muy bien analizada por Maloney (1984) y Boyle y Maloney (1990), donde los alumnos, ante dos bloques enlazados en una diversidad de situaciones donde se variaban factores como el peso de un bloque, el movimiento de estos (parados, M.U y M.U.A), el modo de crear dicho movimiento (tirando o empujando), sobre superficie horizontal e inclinada, los alumnos que no aplicaban la tercera ley de Newton (la mayoría), introducían los factores más figurativos, y en algunos casos de forma combinada, para explicar la desigualdad de las fuerzas puestas en juego.

3. Para los alumnos, las fuerzas que mejor detectan y operan son las que están relacionadas con las acciones por contacto, principalmente las acciones de "tirar" y "empujar" (Gamble, 1989; Clement, 1982; Maloney, 1984), dentro de este contexto, los alumnos encuentran diferencias entre las acciones de tirar y empujar como si se tratara de dos fuerzas de características distintas, (Gamble, 1989; Boyle y Maloney, 1990), mientras que la acción de sostener no es una fuerza (Hierrezuelo y Montero, 1989) como ya hemos señalado anteriormente y donde el objeto donde se apoya otro no requiere ejercer una fuerza.

4. El aspecto figurativo de la situación problemática influye en la determinación de la dirección e intensidad de la acción que se produce. Por ejemplo, es necesario hacer más fuerza para retener un coche que está en pendiente en lo alto de una montaña que en la parte media, sobre una pendiente igual (Watts y Zylbersztajn, 1981), un bloque hace más fuerza cuando tiene más peso (Maloney, 1984) o se considera que un sistema formado por dos pesos iguales unidos por una cuerda y pendientes a través de una polea, no está equilibrado si los pesos no están a la misma altura (Viennot, 1979), dos personas que tiran de una cuerda en sentido opuesto y suponiendo el sistema quieto, hace más

fuerza el individuo que tiene más peso (Terry y Jones, 1986) o el individuo que va ganando (Watts y Zylbersztajn, 1981).

5. La consideración de que en toda interacción, a toda acción le corresponde una reacción, está lejos de ser intuitiva, por el contrario y en general, tan sólo entreve una de las fuerzas que se ponen en juego si de ella se puede observar algún efecto. En situaciones estáticas, o no aprecian ninguna acción, o aquella que realiza la función de sujetar, tirar o empujar (Maloney, 1984). Así se entreve la fuerza de una persona sobre la tierra, pero no se ve la de la tierra sobre la persona (Terry y Jones 1986). No consideran las acciones y reacciones de igual modo si es una situación estática o dinámica, de admitirse la presencia de ambas, si el sistema está parado la acción es igual a la reacción, pero si hay movimiento la acción es superior a la reacción (Hierrezuelo y Montero, 1989).

6. La fuerza está ligada a las interacciones sensomotrices del sujeto sobre su medio, así Gilbert, Watts y Osborne (1982) encontraron que los alumnos no consideran que se esté ejerciendo fuerza alguna cuando un hombre sentado en una bicicleta no pedalea, incluso estos mismos autores apreciaron que los alumnos daban a la fuerza con que pueden actuar los objetos las mismas características que los esfuerzos de animales o humanos, por ejemplo, una caja situada en un plano inclinado, debe realizar un esfuerzo para mantenerse en ese lugar, en este sentido, Brown (1989), comprobó en una serie de experimentos que la fuerza es considerada como una propiedad de los cuerpos, por ejemplo, cuando chocan dos bolas una de las cuales está parada, la que está moviéndose ejerce más fuerza que la otra o cuando los alumnos creen que un bloque de 90kg hace más fuerza que otro de 40kg que se encuentra debajo del primero, creyendo incluso alguno que lo aplastaría.

6. Resultados empíricos sobre la naturaleza corpuscular de la materia.

5.1. Aportaciones piagetianas

Piaget e Inhelder realizaron dos investigaciones especialmente significativas para conocer cómo se desarrolla en el niño la noción atomística o corpuscular de la materia. Estas dos experiencias y los resultados empíricos a los que llegaron pueden verse sintetizados en el Anexo 2. El objetivo de los mismos no parece estar centrado en la génesis del atomismo sino en la de las nociones de conservación de la sustancia, del peso y del volumen. No obstante, dado el paralelismo encontrado entre los dos desarrollos, son muchos y muy interesantes los datos aportados para dilucidar la cuestión de "si el atomismo caracteriza un estadio o se encuentra, con frecuencia más o menos grandes en todos los niveles, pero con significados diferentes según los modos de composición" (Piaget e Inhelder, 1982, pp. 176) y, por supuesto, para conocer cuáles son esos significados.

A continuación destacaremos los resultados más significativos de estos experimentos relativos a la constitución atomística de la materia:

1. En primer lugar, y como resultado general, los niños investigados dan síntomas preatomísticos o atomísticos desde los niveles inferiores, ya que, de forma natural, suelen aludir a granos, polvo, partículas o trozos para dar significado a sus explicaciones. La frecuencia de esta tendencia a hablar de corpúsculos varía, no solo con la capacidad operatoria, sino también con la experiencia física planteada, siendo mucho menor, por ejemplo, en la dilatación del mercurio de un termómetro, que en la disolución del azúcar en agua.

2. Piaget gradúa las explicaciones de los sujetos en niveles, asociados al desarrollo de las nociones de conservación. Estos niveles tienen las siguientes características generales

* En un primer nivel, las explicaciones mayoritarias son macroscópicas y regidas por la percepción. En caso de surgir explicaciones atomísticas o granulares, cosa más probable cuando la experiencia directa invite a hacerlo (como al ver el principio del desmenuzamiento del azúcar) el niño simplemente desplaza el problema macroscópico al nivel microscópico. Por tanto, si a nivel macroscópico la sustancia puede desaparecer o crecer, *los granos elementales pueden desaparecer, crecer en número o tamaño*, como se pone de manifiesto en las respuestas agrupadas en este nivel.

* En un segundo nivel, aumentan las explicaciones microscópicas respecto al anterior y la existencia de los hipotéticos gránulos se hace más independiente de la percepción directa. Estas explicaciones microscópicas de nuevo se basan en trasladar el problema macroscópico al nivel de los corpúsculos. Por tanto, se conciben *granos invisible, que pueden cambiar o perder su peso, que pueden cambiar de volumen o incluso "fundirse"* (transformarse en granos de agua). La única diferencia respecto al nivel anterior estaría en la mayor tendencia a su permanencia

* En un tercer nivel, las explicaciones microscópicas tienden a darse, aún en las situaciones más adversas, tal como la dilatación del mercurio. No obstante, los *granos o trozos elementales para los sujetos de este nivel pueden contraerse o dilatarse y, por tanto, pueden ser elásticos*. La única diferencia con el nivel anterior se encuentra en la mayor tendencia a su permanencia y el reconocimiento del peso constante.

* Por último, en el cuarto nivel, son muy mayoritarias las explicaciones microscópicas basadas en *granos invariables e incompresibles que se separan o dejan grietas entre ellos*, al dilatarse o mezclarse con el agua. El peso y el volumen individual de estos gránulos permanece invariable, como lo hace la sustancia global. No obstante, esto no se aplica, aún a estos niveles al aire o al "humo del fuego o del calor", ya que éstos no pesan (sí parecen ocupar un volumen) y su presencia en los huecos de los trozos o de los granos no afecta ni

a las características individuales de éstos ni a las de la materia global. De hecho, la explicación a la dilatación del grano de maíz de un niño de este nivel de 12 años de edad fue: "Tendría el mismo peso...El aire se coloca entre los granos de harina y se hincha el grano gordo". El aire, pues, no se percibe como materia y, por tanto, no se le aplican los esquemas anteriores.

5.2. Aportaciones del MCA

Para nuestros objetivos, a continuación nos limitaremos a sintetizar lo más brevemente posible, estos resultados:

1. Hay un acuerdo común, en los trabajos analizados sobre el hecho de que los alumnos, desde edades tempranas de 10 años en adelante, usan frecuentemente ideas corpusculares de la materia (Novick y Nussbaum, 1978; Pfundt, 1981; Brook y col., 1984). En los niveles superiores, casi el 100% elige una estructura de partículas para el aire (Novick y Nussbaum, 1981a).

2. Los obstáculos epistemológicos para un aprendizaje científico del modelo corpuscular de la materia parecen concentrarse en dos aspectos (Novick y Nussbaum, 1981a):

a) Negación del vacío entre partículas. Los distintos trabajos analizados ponen de manifiesto la dificultad para concebir la inexistencia de materia en los huecos entre partículas. Los alumnos tienden a llenar estos huecos con "polvo", "gérmenes", "aire", "otros gases", etc. (Novick y Nussbaum, 1978; Dow y otros, 1978; Osborne y Schollum, 1983; Llorens, 1988) o negar la existencia de los mismos huecos (Pfundt, 1981). Esta dificultad permanece incluso en alumnos universitarios (Novick y Nussbaum, 1981a). La compatibilización de esta negación del vacío con la existencia de partículas ha sido interpretada por Novick y Nussbaum (1981b) como una asimilación de una nueva información, principalmente que la materia contiene partículas a los esquemas alternativos de la materia continua. Como consecuencia, por ejemplo, "anteriormente imaginaban el aire como una gelatina transparente y ahora se lo imaginan como una gelatina imbuída de partículas".

b) Visión estática de los corpúsculos. También parece ser un problema imaginarse un movimiento intrínseco en las partículas de la materia, no solo para alumnos de edades de 13-14 años (Novick y Nussbaum, 1978; Mitchell y Kellington, 1982) sino también en los universitarios (Novick y Nussbaum, 1981a). Dow y otros señalan la mayor dificultad en aceptar el movimiento de las partículas en caso de sólidos y líquidos que en gases.

3. Las partículas de las que suelen hablar los alumnos no se corresponden con la visión científica de las mismas. En los niveles inferiores se les atribuye características humanas, como crecer, morir, consumirse, etc (Osborne y otros, 1982) Y los de edades intermedias de 15 años, propiedades macroscópicas de la materia y así, pueden dilatarse o fundirse (Brook y otros, 1984). Incluso en

alumnos universitarios, más del 50% no respeta la conservación del número de partículas en los dibujos que usan para representar numerosos procesos físicos y químicos (Gabel y otros, 1987).

4. Las dificultades de los alumnos con el modelo corpuscular de la materia adquieren sus peculiaridades cuando éste se aplica a los distintos estados de agregación. No obstante, no hay acuerdo general de resultados. Por ejemplo, si Dow y otros (1978), encontraron que el diámetro molecular disminuye progresivamente al pasar del estado sólido al líquido y de éste al gaseoso, Gabel y otros (1987) obtuvieron resultados contrarios, esto es, que hay una tendencia a aumentar el diámetro de las partículas en los cambios de líquidos a gases, en lugar de la esperada separación de las mismas.

Otra conclusión de estos últimos autores fue que los alumnos subestiman la distancia entre partículas para los gases y sobreestiman la distancia para sólidos y líquidos. Así, si ésta suele ser del orden de 12:1:1, los alumnos incluso universitarios, suelen hacer dibujos de 3,5:2:1.

Por último, Brook y col (1984) encontraron también confusiones de las fuerzas entre partículas para los distintos estados de agregación.

7. Comparación de resultados empíricos piagetianos y del MCA

6.1. Sobre la noción de fuerza

En base a los datos expuestos anteriormente sobre fuerzas, se puede afirmar que en el plano de las regularidades a partir de los datos directos ofrecidos por los entrevistados, las aportaciones de los trabajos posteriores están contenidas en los trabajos piagetianos, que presentamos resumidas aquí:

- a) La noción de fuerza está asociada con el movimiento que produce, y cuando éste no se da, los alumnos tienen dificultades para detectarlas.
- b) El aspecto figurativo influye en la determinación de la dirección y sentido de la fuerza.
- c) La reacción de una acción está lejos de ser intuitiva.
- d) La noción de fuerza está ligada a las interacciones sensomotrices del sujeto con su medio.
- e) Son difíciles de entrever los efectos cuando estos están ocasionados por varias causas, que actúan bien simultáneamente o sucesivamente.

No obstante, se han detectado algunas diferencias en el plano de los datos concretos, creadas más por la nueva situación física planteada al alumno que por una interpretación del autor. Así, se pueden apreciar algunas novedades de

los trabajos posteriores que, aunque contenidas en las generalidades piagetianas, no lo están explícitamente en los datos concretos. Estos nuevos datos, así como las situaciones físicas que generan estos, que hemos considerado más interesantes son el desplazamiento por el espacio de un cohete, donde la trayectoria está determinada por la causa, o ausencia de ésta, que en cada momento actúa (Clement, 1982), la valoración de fuerzas actuantes de los bloques entrelazados depende del modo con que se aplican las acciones o de factores que no tienen nada que ver con éstas (Maloney, 1984), el coche sujeto en la parte alta y media de una montaña (Watts y Zylbersztajn, 1981), la asociación de las fuerzas actuantes con el estado de movimiento de la moneda lanzada hacia arriba y la desigualdad de las acciones en la polea que sujeta pesos iguales, debida a un desnivel de los pesos, sin que le parezca al alumno relevante la quietud del sistema (Viennot, 1979), y otros ya comentados de Terry y Jones (1986), Gilbert y otros (1982) y Brown (1989).

También se aprecian datos piagetianos no contenidos en trabajos posteriores como son, en general, aquellos referentes a la ordenación de los datos por niveles de dificultad desde una perspectiva genética, en particular, a los que indican que el efecto de los pesos depende del orden temporal de su colocación, los que se refieren a las previsiones curiosas del nivel preoperacional y los que sugieren que determinadas adquisiciones dinámicas del peso llevan al sujeto a retrocesos en la interpretación de los datos.

6.2. Sobre la naturaleza de la materia

Una rápida lectura de los resultados empíricos expuestos en apartados anteriores sobre este tema, pone de manifiesto que:

a) Respecto al uso primitivo de las ideas corpusculares de la materia y a la visión no científica atribuida por los alumnos a las hipotéticas partículas, los trabajos del MCA no han hecho más que confirmar resultados empíricos piagetianos. Incluso parecen haber obviado un dato que, en este mismo sentido, nos parece sumamente interesante: no basta con decir que los alumnos atribuyen a las partículas características humanas (morir, crecer, consumirse,..) o características macroscópicas (fundirse, dilatarse, contraerse,...) sino que sería muy importante conocer, al modo que lo hace Piaget, qué posible evolución hay respecto a estas características y qué tipos de tareas favorecen unas u otras.

b) En las investigaciones aludidas no se suelen controlar las dificultades de los niños con los fenómenos macroscópicos que se les pide interpretar mediante el modelo corpuscular. Esto sería lógico si los niños no tuvieran problemas a este nivel fenomenológico. Piaget comprobó que esto no es así hasta la edad de los 12 años. Más recientemente, Stavy (1990) encuentra que aún cuando a estas edades los niños tengan el aparato lógico necesario para respetar las leyes de conservación, éste actúa competitivamente con el sistema alternativo de conocimiento y uno u otro puede ser activado bajo la influencia de los diversos aspectos figurativos de la cuestión planteada. Así, por ejemplo, la permanencia

del color en una evaporación favorece la actuación del aparato lógico sobre el sistema alternativo de conocimiento. Pero con color o sin color, "solamente el 50% de los estudiantes de 12 años comprenden la conservación de la materia en el proceso de evaporación". Este hecho parece de especial importancia en este caso puesto que en la mayor parte de las situaciones planteadas a los niños en las investigaciones del MCA sobre este tópico intervienen gases y éstos favorecen las dificultades con las leyes de conservación.

No dudamos de que las leyes de la conservación de la materia son un punto de partida clave para la comprensión de la teoría corpuscular. Sería conveniente que se controlaran de forma paralela las respuestas de los alumnos a ambos niveles de interpretación, el macroscópico o fenomenológico y el microscópico o de modelización. Esto fue comenzado a hacer por Piaget, alcanzando unos resultados que no han sido rechazados ni confirmados, sino únicamente obviados.

c) Los obstáculos epistemológicos propuestos por los del MCA para la naturaleza corpuscular de la materia son identificados con los de la misma Epistemología de la Ciencia (Nussbaum, 1989) y explicados por la necesaria transposición cognitiva y lingüística entre los fenómenos reales percibidos y la interpretación microscópica, que en caso de darse incorrectamente originaría representaciones corpusculares regidas por ideas macroscópicas (Llorens, 1988).

Al margen de que no aparecen referencias a las dificultades con el nivel macroscópico, como ya comentamos en el punto anterior, tampoco se reconoce la necesidad operatoria que subyace a este tipo de actividades abstractas, y que sin duda es una de las causas de dificultades. Solo encontramos una cita de Mitchell y Kellington (1982) que viene a confirmar la importancia de las operaciones mentales, al decir que "es posible explicar los resultados concluyendo que un gran número de alumnos no han conseguido las habilidades intelectuales para comprender plenamente la teoría corpuscular de la materia".

d) Las respuestas específicas que dan los alumnos al aplicar el modelo corpuscular de la materia a los distintos estados de agregación, sólido, líquido y gas, son aspectos nuevos detectados por los del MCA ya que no habían sido investigados por Piaget. No obstante, hemos de señalar que estas diferencias pueden estar muy influenciadas por una enseñanza incorrecta y, en concreto, por los libros de texto, en los que se ponen de manifiesto las mismas tendencias que presentan los alumnos (Benarroch, en prensa). Esto explicaría las contradicciones en los resultados de las distintas investigaciones.

No queremos finalizar este apartado sin hacer un comentario trivial a la cita más generalizada que hace referencia a los trabajos empíricos piagetianos. Esta alude en términos globales a que, como dice literalmente Llorens (1988) "este atomismo intuitivo no es considerado válido por algunos autores (...) para la

construcción del concepto de cambio químico y no parece ser condición suficiente para un aprendizaje significativo de la teoría atómico-molecular". Si bien estamos de acuerdo con esta aseveración, de ella misma deducimos la condición necesaria que parece suponer, lo cual es una vez más, obviado en los trabajos del MCA.

8. Conclusiones

Después de analizar los alcances empíricos piagetianos y del MCA a los tópicos de "la fuerza" y "la naturaleza corpuscular de la materia" y después de realizar comparaciones entre ambos con el fin de conocer el grado de asimilación de los primeros por parte de los segundos, creemos que podemos concluir que **los trabajos piagetianos han sido obviados casi por completo**, esta conclusión es tanto más significativa en tanto no se aprecia que las aportaciones del MCA en la búsqueda y descripción sean superiores a las piagetianas.

Ciertamente, en los artículos publicados entre 1975 y 1985, apreciamos que aparecen comentarios, algo más extensos pero progresivamente menores, sobre los experimentos de Piaget, si bien hay que apresurarse a decir que dichas citas son más formales y de compromiso que reales puesto que poco se tienen en consideración en el curso posterior de la investigación; después de este período, incluso cuando se plantean tareas y situaciones ya estudiadas por Piaget, se obvian sus resultados empíricos a favor de los obtenidos por otros compañeros del Movimiento de las Concepciones Alternativas. Puede ser que este declive coincida con la publicación de ciertos artículos de renombre tales como el de Gilbert y Swift (1985) o el de Driver y Millar (1987), donde es cuestionada la perspectiva piagetiana, en cualquier caso, el hecho ha sido eclipsar los valiosos resultados empíricos obtenidos por Piaget.

Resulta irónico, incluso penoso, pensar que si Piaget se hubiera limitado a presentar a la comunidad científica sus más de 100 experimentos, sin las valoraciones teóricas que les acompañaban, posiblemente sería considerado un gran investigador constructivista "preocupado por los modos de pensamiento del niño", a juzgar por la riqueza de datos encontrados.

El Movimiento de las Concepciones Alternativas ha puesto de manifiesto la importancia de ciertas tendencias en las respuestas de los niños sobre los fenómenos físicos originadas por su contacto directo con los mismos y por la influencia social y lingüística. Indudablemente, ha obtenido resultados ligados a situaciones problemáticas nuevas que no estaban contenidos en los trabajos de Piaget. Pero la falta de rigor científico y metodológico y su empeño de no "mezclarse" con otros programas, rechazándolos de plano, le ha llevado a un "techo" en el que no se aprecia una progresión, de modo tal que trabajos recientes parecen reiterar los resultados de los anteriores (Millar, 1989; Strike y Posner, 1990; Hewson, 1990; Abimbola, 1988).

Quizás, un cambio metodológico donde se contemplara el aporte piagetiano podría ser una solución a investigar (López Rupérez, 1990), creemos que el trabajo en Didáctica de las Ciencias no debe intentar ajustarse a ningún modelo de evolución de las Ciencias y menos aún a los que le imponen cortapisas a su propio desarrollo. Los modelos de evolución científica se han creado a posteriori del propio trabajo científico que, por tanto, se ha desarrollado de manera independiente. Sería un error que en la investigación sobre la Enseñanza de las Ciencias no actuáramos de la misma manera, dejando para el futuro las discusiones más filosóficas que reales sobre nuestra propia evolución.

Por último, nos queda la curiosidad de conocer el motivo por el cual la obra de Piaget se ha tenido en tan poca consideración (en la segunda parte de la década de los 80, prácticamente se le ha obviado); desgraciadamente, los datos que aportan los trabajos posteriores revisados no explicitan nada referente a este particular, por lo que es difícil llegar a una respuesta de forma concluyente, si bien es posible barajar algunas hipótesis a destacar las siguientes:

1. Las críticas a la teoría de Piaget de unos autores, a podido llevar a otros menos documentados en dicha teoría a considerar incorrecta toda la obra de este autor.
2. La extensa obra de Piaget, es algo muy cierto, presenta bastantes dificultades para ser asimilada, no tanto por su complejidad como por el estilo "duro" y "retorcido" de este autor, mientras que los trabajos del MCA, generalmente presentados en artículos y de lectura relativamente fácil, exigen un sustrato mínimo de conocimientos para ser asimilados, permitiendo desarrollar nuevos trabajos, formalmente correctos, sin gran esfuerzo; esto explicaría la proliferación de numerosos trabajos sobre concepciones en la década de los 80.
3. La pérdida del carácter paradigmático que venía disfrutando la obra piagetiana, en favor del movimiento de las concepciones alternativas (Gilbert y Swift, 1985), ha llevado a ésta a quedar fuera del "circuito" de trabajos publicados recientemente.
4. Para un autor que se inicie en el dominio de la didáctica de las Ciencias Experimentales, puede creer que los trabajos recientes deben ser superiores a los que se pueden considerar como "antiguos".

A pesar de que los autores de este trabajo están convencidos de la que consideran verdadera razón del eclipsamiento piagetiano, preferimos que sea el lector, con los datos que aquí se ofrecen y los que sean propios de su formación en este dominio, quien pondere las distintas posibilidades.

9. Referencias bibliográficas

- **ABIMBOLA, I.O., 1988**, "The problem of terminology in the study of student conceptions in Science", Science Education, Vol. 72, nº 2, 175-184

- **ADEY, P.S., 1987**, "A response to "Towards a Lakatosian Analysis of Piagetian and Alternative Conceptions Research Programs", Science Education, vol.71, n°1, 5-7
- **ALIBERAS, J. y otros, 1989**, "La Didáctica de las Ciencias: una empresa racional", Enseñanza de las Ciencias, vol.7, n°3, pp. 277-284
- **BENARROCH, A., en prensa**, "Los estados de agregación de la materia en los libros de texto de EGB", Publicaciones, n°17
- **BOYLE, R. y MALONEY, D., 1991**, Effect of written text on usage of Newton's third law. Research in Science Teaching. v.16. n°2. pp.123-139.
- **BRINGUIER, J., 1977**, Conversaciones con Piaget. Granica. Barcelona.
- **BROWN, D., 1989**, Student's concept of force: the importance of understanding Newton's third law. Physics Education. v.24. pp.353-358.
- **BROOK, A., BRIGGS, H. y DRIVER, R., 1984**, "Aspects of secondary students understanding of the particulate nature of matter", Children's Learning in Science Project, Centre for Studies in Science and Mathematics Education, Universidad de Leeds, Leeds
- **CLEMENT, J., 1982**, Students' preconceptions in introductory mechanics. American Journal Physic. v.50. n°1. pp.66-71.
- **DOW, W.H., AULD, J. y WILSON, D., 1978**, "Pupils' concepts of gases, liquids and solids. An investigation into the teaching of the particulate nature of matter", Dundee College of Education
- **DRIVER, R., 1986**, "Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos", Enseñanza de las Ciencias, vol.4, n°1, pp. 3-16
- **DRIVER, R. y col., 1989**, Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia, Morata/MEC, Madrid
- **GABEL, D., SAMUEL, K. y HUNN, D., 1987**, "Understanding the particulate nature of matter", Journal of Chemical Education, vol.64, n°8, pp. 695-697
- **GAMBLE, R., 1989**, Force. Physics Education. v.24. n°2. pp.79-82.
- **GILBERT, J.; WATTS, D. y OSBORNE, R., 1982**, Students' conceptions of ideas in mechanics. Physics Education. v.17. n°2. pp.62-66.
- **GILBERT, J.K. y SWIFT, D.J., 1985**, "Towards a lakatosian analysis of the piagetian and alternative conceptions research programs", Science Education, vol.69, n°5, pp. 681-696
- **GIORDAN Y DE VECCHI, 1987**, Les origenes du savoir, Dalachaux, París, pp. 77-125 (Trad. cast: Los orígenes del saber, 1998, Díada, Sevilla)

- **GUNSTONE,R., 1989**, "A comment on the problem of terminology in the Study of Student Conceptions in Science", Science Education, vol.73, n°6, pp. 643-647
- **GUNSTONE,R. y WATTS,M., 1989**, "Fuerza y movimiento", en R. Driver y otros, Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia, Morata/MEC, Madrid
- **HERRON,J., 1978**, "Role of learning and development: critique of Novak's comparison of Ausubel and Piaget", Science Education, col.62, n°4, pp. 593-605
- **HEWSON,P.W., 1990**, "La enseñanza de fuerza y movimiento como cambio conceptual", Enseñanza de las Ciencias, vol.8, n°2, pp. 157-171
- **HIERREZUELO y MONTERO, 1988**, La Ciencia de los alumnos, Laia/MEC, Barcelona
- **LINN,M.C., 1987**, "Establishing a research base for science education: challenges, trends and recommendations", Journal of Research in Science Teaching, vol.24, n°3, pp. 191-216
- **LOPEZ RUPEREZ,1990**, "Epistemología y Didáctica de las Ciencias. Un análisis de segundo orden", Enseñanza de las Ciencias, vol.8, n°1, pp. 65-74
- **LLORENS,J.A., 1988**, "La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje", Investigación en la Escuela, n°4, pp. 33-49
- **MALONEY, D.P., 1984**, Rule-governed approaches to physics: Newton's third law. Physics Education. v.19. pp.37-42.
- **MARIN,N. y JIMENEZ,E., 1991**, "Elementos cognoscitivos determinantes de las respuestas del sujeto", Comunicación presentada a los XII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Oviedo
- **MILLAR,R., 1989**, "Críticas constructivistas", International Journal of Science Education, vol.11, n°5, pp. 587-596
- **MILLAR,R. y DRIVER,R., 1987**, "Beyond Processes", Studies in Science Education, vol.14, pp. 33-62
- **MITCHELL,A.C. y KELLINGTON,S.H., 1982**, "Learning difficulties associated with the particulate theory of matter in the Scottish Integrated Science Course", European Journal of Science Education, vol.4, n°4, pp. 429-440
- **NOVAK,J., 1982**, Teoría y práctica de la educación, Alianza Universitaria, Madrid
- **NOVAK,J., 1988**, "Constructivismo humano: un consenso emergente", Enseñanza de las Ciencias, vol.6, n°3, pp. 213-233

- **NOVICK,S. y NUSSBAUM,J., 1978**, "Junior high school pupils understanding of the particulate nature of matter: an interview study", Science Education, vol.62, pp. 273-281
- **NOVICK,S. y NUSSBAUM,J., 1981a**, "Pupils understanding of the particulate nature of matter: a cross-age study", Science Education, vol.65, pp. 187-196
- **NOVICK,S. y NUSSBAUM,J., 1981b.**, "Brainstorming in the classroom to invent a model: a case study", School Science Review, vol.62, nº221, pp. 771-778
- **NUSSBAUM,J., 1989**, "La tierra como cuerpo cósmico", en Driver,R. y otros, Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia, Morata/MEC, Madrid, pp. 196-224
- **NUSSBAUM,J. y NOVAK,J., 1976**, "A assessment of children's concepts of the earth utilizing structures interviews", Science Education, vol.60, nº4, pp. 535-550
- **OSBORNE,R.J. y SCHOLLUM,B.W., 1983**, "Coping in Chemistry", Australian Science Teachers Journal, vol.29, nº1, pp. 13-24
- **OSBORNE,R.J., COSGROVE,M.M. y SCHOLLUM,B.W., 1982**, "Chemistry and the Learning in Science Project", Chemistry in New Zealand, vol.46, nº5, pp. 104-107
- **PERALES,J., 1990**, "Análisis relacional entre la psicología de Piaget y el modelo constructivista para la didáctica de las Ciencias", Comunicación presentada al XI Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Burgos
- **PFUNDT,H., 1981**, "The atom- the final link in the division process or the first building block?", Chimica didactica, nº7, pp. 75-94
- **PIAGET, J., 1973a.** Las explicaciones causales. Barral. Barcelona.
- **PIAGET, J. y col., 1973b.** La formation de la notion de force. P.U.F. Paris.
- **PIAGET, J, 1975.** La composición de la fuerzas y el problema de los vectores. Morata. Madrid. (Ver.orig. La composition des forces et le problème des vecteurs. P.U.F. Paris. 1973).
- **PIAGET,J. e INHELDER,N., 1982**, El desarrollo de las cantidades en el niño, Hogal del Libro, Barcelona (Título original: Le Developpment Des Quantités Physiques Chez L'Enfant, 1971, Delachaux y Niestlé, Suiza)
- **POZO,J.I., 1991,---**
- **POZO,J.I. y CARRETERO,M., 1987**, "Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas. ¿Qué cambia en la enseñanza de las Ciencias?", Infancia y Aprendizaje, nº38, pp. 35-52
- **SERE,M., 1990**, "Resume du Cours de Methodologie de la Recherche en Didactique des Sciences Physiques" (Policopiado), Universidad de Granada

- **STAVY,R., 1990**, "Pupils' problems in understanding conservation of matter", International Journal of Science Education, vol.12, n°3, pp. 501-512
- **STRIKE,K. y POSNER,G., 1990**, "A revisionist theory of conceptual change" en R.Duschl y Hamilton,R. (eds), Phylosophy of Science Cognitive Science and Educational Theory and Practice, Albany, NY
- **TERRY,C. y JONES,G., 1986**. Alternative frameworks: Newton's third law and conceptual change. European Journal Science Education. v.8. n°3. pp.291-298.
- **VIENNOT, L., 1979**, Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. Hermann. París.
- **WARREN, J.W., 1979**, Understanding force. John Murray. London.
- **WATTS, D. y ZYLBERSZTAJN, A., 1981**, A survey of some children's ideas about force. Physics Education. v.16. pp.360-5.