

Evaluación del cambio conceptual mediante una entrevista “en profundidad”.

Manuel Montanero*; M^a Isabel Suero
Angel Luis Pérez; Manuel Montanero Fernández**

* Colegio San José (Villafranca de los Barros)

** Universidad de Extremadura

Resumen:

En este artículo se analizan algunas concepciones espontáneas que los estudiantes pueden mostrar sobre al aplicar el Principio de Acción y Reacción a diversas situaciones físicas, tratando de complementar métodos cuantitativos y cualitativos. En relación a estos últimos, se presenta el estudio de un caso mediante una “entrevista en profundidad”, que fue aplicada a 18 estudiantes con edades comprendidas entre 12 y 18 años, con objeto de analizar su pensamiento implícito a lo largo del proceso de cambio conceptual.

Palabras clave: Cambio conceptual. Concepciones espontáneas. Principio de Acción y Reacción. Métodos cualitativos

Summary:

In this paper we analyse some spontaneous conceptions that the students may show in physical situations that are solved with the application of the Action and Reaction Principle. We have try to complement quantitative and qualitative methods. With regard to the second one, we present the study of a case through a “depth interviews”, which was accomplished to 18 students with ages among 12 and 18, in order to analyse their implicit thought along the conceptual change process.

Key words: Conceptual change. Spontaneous conceptions. Action and Reaction Principle. Qualitative methods.

(Fecha de recepción: diciembre, 2001, y de aceptación definitiva: septiembre, 2002)

La investigación cuantitativa y cualitativa sobre las teorías implícitas

El estudio de las teorías implícitas sobre los fenómenos físicos ha sido uno de los temas de investigación más recurrentes de la Didáctica de la Ciencia durante los últimos veinte años. Desde un enfoque *atomista*, una gran variedad de trabajos se han centrado en analizar el contenido semántico de las preconcepciones alternativas que los estudiantes manifiestan espontáneamente en el estudio de las disciplinas científicas (Driver, Guesne, Tiberghien, 1986). Se trata fundamentalmente de pseudoconceptos (Vygotsky, 1978), generados por explicaciones causales, implícitas y muy simplificadas, pero que resultan útiles para la vida cotidiana. Desde un enfoque más *molar*, otras investigaciones se han ocupado de estudiar los procesos inferenciales que las sustentan y que se utilizan con contenidos y contextos semejantes, formando “micro-teorías”, con una estructura representacional más o menos “consistente”, aunque con diferencias funcionales respecto a las teorías científicas (Claxton, 1987; Karmiloff-Smith, 1992; Montanero y cols., 2001). En este sentido, en un extenso estudio con 482 alumnos de diferentes niveles educativos encontramos que más del 95% de los alumnos de B.U.P. y C.O.U. y casi un 70% de alumnos de 3º de la licenciatura de Físicas eran incapaces de responder correctamente a un

test en el que se aplicaba el Principio de Acción y Reacción a ejemplos de situaciones físicas, a pesar de que la mayoría de ellos habían recibido una instrucción avanzada. En torno a un 60% de esos sujetos que habían cometido errores, lo hicieron además con un patrón de respuesta consistente con teorías implícitas basadas en la concepción alternativa del “ímpetus” (Montanero, 1994; Montanero, Pérez y Suero, 1995).

A lo largo de los últimos 25 años, los principales trabajos en torno a las preconcepciones sobre fuerza se fundamentan en análisis cuantitativos como éste (véase la revisión al respecto de Solano y cols., 2000). A pesar de su indudable interés, los estudios estrictamente cuantitativos presentan, no obstante, importantes limitaciones a la hora de profundizar en la naturaleza de las teorías implícitas. Algunos trabajos han mostrado que las teorías alternativas pueden coexistir con las propias teorías oficiales en la mente del alumno, de manera que éste puede estar respondiendo aparentemente con corrección a un test adecuando la respuesta oficial al núcleo básico de su teoría alternativa, sin modificarla realmente (Piaget, 1978). Desde un punto de vista sociocultural, algunos trabajos han argumentado que las teorías implícitas se actualizan en determinados *escenarios de aprendizaje*. Cada escenario (cotidiano, escolar o científico) proporciona un “entorno espacio-temporal que contiene un rico entramado

de personas con intenciones, motivos y metas, que realizan tareas significativas para la cultura y que, siguiendo determinados formatos interactivos y tipos de discursos, *negocian* una representación compartida del contenido de las mismas” (Rodrigo, 1997). Este entramado condiciona la activación de determinados modelos mentales sobre los fenómenos físicos y la realización de diferentes tipos de inferencias a partir de ellos (Pozo, 1999). En un *escenario cotidiano*, las inferencias tienden a ser de carácter fundamentalmente perceptivo, inductivo y asociativo. Están, por tanto, amenazadas por una sobreestimación o distorsión de esos factores situacionales, derivados del procesamiento de características irrelevantes del contexto en que se desarrollan los fenómenos observados. Sin embargo, estos sesgos no se tienen en cuenta en la construcción del modelo teórico que se demanda en el *escenario escolar o científico*.

Desde el paradigma interpretativo de la investigación educativa se han argumentado sólidamente las limitaciones que plantean los métodos exclusivamente cuantitativos para evaluar este tipo de representaciones esencialmente subjetivas y contextuales (Elliot, 1990). En este sentido, la tradicional evaluación cuantitativa mediante cuestionarios de respuestas objetivas debería complementarse con otros métodos cualitativos que faciliten el acceso a los significados e inferencias completa-

mente subjetivas que caracterizan a las teorías implícitas.

Un procedimiento cualitativo que se ha propuesto como alternativa es la entrevista “en profundidad” en *estudios de casos múltiples* (Arnal y Del Rincón, 1992). Se trata de una técnica que tiene importantes antecedentes en investigaciones sobre la construcción del conocimiento científico (véase, por ejemplo, Piaget e Inhelder, 1985; Driver y Engel, 1985; Seré, 1986). La diferencia fundamental con otros tipos de entrevista semiestructuradas reside en el elevado grado de implicación del evaluador (Rodríguez, Gil y García, 1999), que debe de orientar cada nueva pregunta en función de un análisis “on line” de las respuestas del entrevistado.

Frente a otros métodos de corte más cuantitativo, las ventajas que ofrece el estudio de casos mediante entrevista “en profundidad” de cara a al estudio de teorías implícitas pueden resumirse en dos aspectos. En primer lugar, la recogida de información cualitativa a partir de casos particulares permite captar mucho mejor que un test las representaciones mentales implícitas y a menudo de carácter *no declarativo*. Parte de esta valoración puede hacerse, al igual que se intenta en los cuestionarios, mediante tareas de solución de problemas que requieren la interpretación de un fenómeno físico presentado visualmente con elementos cotidianos. Sin embargo la traducción de los significados e inferencias implícitas a respuestas verbales que el suje-

to puede escoger es, cuanto menos, una presunción arriesgada por parte del investigador.

Por otro lado, la recogida de datos cuantitativos mediante situaciones de observación muy estructuradas permite aproximarse a la descripción de los errores inferenciales que derivan de dichas concepciones implícitas, pero no permite una *evaluación procesual* acerca de cómo se desencadenan los mecanismos de *cambio conceptual*. El *cambio conceptual* que posibilita la apropiación de las teorías científicas requiere una modificación, no sólo del contenido semántico de las representaciones, sino también de los procesos inferenciales que la educación debe promover y que permiten construir modelos mentales compartidos en el escenario escolar y científico (Pozo, 1997, 1999). Generalmente se ha enfatizado la facilitación de *conflictos cognitivos* como el principal agente de este cambio (Pozo, 1989). El *conflicto* comienza cuando el alumno comprueba que su teoría previa lleva a predicciones que no se cumplen (conflicto factual), a partir de un *estado psicológico* de incertidumbre e insatisfacción respecto de la predicción o explicación de un fenómeno (Posner y cols., 1982); y culmina cuando el alumno toma conciencia de sus ideas, las verbaliza y contrasta e interrelaciona con otras versiones alternativas (conflicto conceptual).

La delimitación del campo de aplicación de este proceso de cambio conceptual es pues una cuestión compleja

(Marín, 1999). Sólo en un contexto de interacción y de interpelación recursiva como la que el evaluador plantea al sujeto en la entrevista *en profundidad* es posible obtener información acerca de cómo el sujeto responde ante la presentación de conflictos cognitivos y cómo se produce, si llega el caso, el acceso a nuevos significados compartidos. Este procedimiento requiere un entrenamiento previo por parte del entrevistador, más allá de la preparación de un esquema semiestructurado de las preguntas, de manera que consiga *explicitar* el pensamiento del alumno, sin forzar ni sesgar su discurso mental.

La estructura en la que debe basarse la formulación de las preguntas durante la entrevista responde a una necesidad evidente: ¿qué se va buscando?. En nuestro caso, el objetivo principal no era ya tanto evaluar si los sujetos aplican el Principio de Acción y Reacción a las situaciones físicas presentadas, como profundizar en la naturaleza de las *explicación causales* de cada estudiante (Piaget y García, 1982), así como en el *modelo teórico subyacente* (Bunge, 1978). Las aportaciones del entrevistador se basaban en el dominio del modelo teórico oficial, tanto en sus aspectos legales como en los epistemológicos; el conocimiento del desarrollo histórico del mismo, así como de las concepciones espontáneas más frecuentes elaboradas por los alumnos en torno a los fenómenos que se están tratando.

Estudio de un caso: entrevista a Oscar

Sobre estos presupuestos, decidimos complementar la investigación anterior con un diseño de *estudio de casos múltiples*, basado en la realización y análisis de 18 entrevistas de unos 30 minutos de duración. Todas las entrevistas fueron grabadas y transcritas cuidadosamente. Para ejemplificar el procedimiento, hemos seleccionado un fragmento a un alumno de 16 años, con buen rendimiento académico, que hacía poco tiempo había recibido la instrucción convencional que en el B.U.P suele darse acerca de los principios de la Dinámica. Lo más llamativo del caso es que “Oscar” es un alumno que había respondido correctamente a todos los ítems del mencionado test sobre la aplicación del Principio de Acción y Reacción, por lo que la investigación anterior había sido incluido dentro del 5% de alumnos que no manifestaban teorías implícitas, alternativas a la oficial.

Tras un breve interacción con el evaluador (dirigida a eliminar tensión y facilitar la espontaneidad de las respuestas) la entrevista se organizaba en torno a la presentación de figuras que representaban, de un modo muy simplificado, una situación física que el alumno debía describir y explicar. Al final de cada fragmento presentamos también un extracto de los análisis cualitativos que se iban realizando.

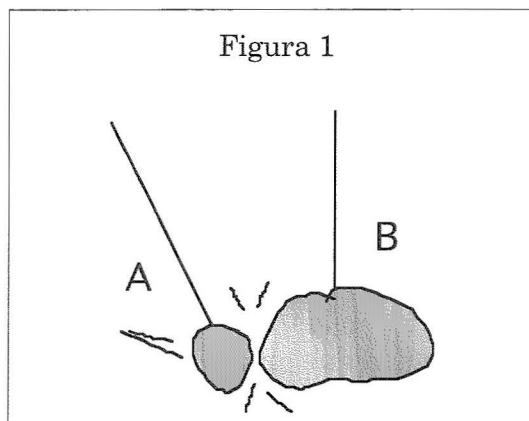


Figura 1

(I)

Evaluador.- ¿Cómo interpretas esta figura? [Presentación visual del ítem nº 1].

Alumno.- Llevamos la piedra hacia arriba, le damos una energía potencial... Al soltarla coge una aceleración y le produce a la piedra B una fuerza al chocar.

E.- ¿La A produce a la B una fuerza?

A.- Y la B otra fuerza de iguales características a la A. Producen una fuerza recíproca por el Principio de Acción y Reacción... Lo que ocurriría es que, como tienen masas distintas, la A rebotaría... creo. Le produciría una aceleración al tener una masa pequeña... Pero, a la B, esa fuerza no sería suficiente para moverla, quedaría quieta... y la A retrocedería.

Como se aprecia, el profesor pretende inicialmente que el alumno explicito lo que entiende por fuerza. Le llama sobre todo la atención la palabra “produce” que le sugiere ya la existencia de una preconcepción, si es que producir se entiende en el sentido de que A transfiere algo a B, debido a una causa que aún no está claramente expresada. La explicación causal que utiliza el alumno no está muy clara por el momento. Podemos formular dos hipótesis sobre la

explicación implícita que subyace a las respuestas del alumno: (a) el paso de la energía de A a B es la causa de la fuerza aludida; (b) la energía puesta en juego produce una aceleración en la piedra A, la cual, al chocar, da lugar a la fuerza (ya que una masa multiplicada por una aceleración es una fuerza).

Si a continuación encontramos más información que apoye la alternativa (b), se explicaría que el estudiante emplee el verbo “produce”, refiriéndose a que la fuerza se produce en A. Esta interpretación conduciría a la inferencias de que la aceleración “causa” la fuerza, es decir, una confusión de dependencia funcional ($a=F/m$, en lugar de $F=ma$). La idea intuitiva del sujeto de que algo se “transfiere”, se superpondría a la idea obtenida a través de una instrucción reciente de que $F= m \cdot a$ (como un caso particular de lo que Piaget denominaba asimilación “beta”).

(II)

E.- Bien. Tú has aludido ahí al Principio de Acción y Reacción... ¿Cómo ves tú el Principio de Acción y Reacción aplicado ahí? Lo has estudiado hace un mes y medio en Física, ¿te acuerdas de su aplicación aquí?, ¿o tú lo ves como un hecho natural que te ha sugerido la idea... ?. ¿Tenías ya una idea de esto?

A.- Idea, no; lo que pasa es que al conocerlo, dices ...

E.- ... O sea, que tú inmediatamente identificas al Principio de Acción y Reacción ahí... y me has dicho: A produce una fuerza en B. Bien, vamos a analizar esa frase, “A produce una fuerza en B”; veamos, ¿qué es eso para ti?

A.- ¿Que A ejerce una fuerza en B?

El profesor aprecia que el alumno da una excelente explicación para su edad,

pero pretende ahora averiguar la posibilidad de que coexistan en su pensamiento las dos teorías: la oficial, recientemente estudiada, y la espontánea. La explicación dada sobre la existencia de una fuerza de reacción es puramente memorística (como más delante de la entrevista tendremos ocasión de confirmar). Parece que ha habido una asimilación del Principio de Acción y Reacción en términos *causales*, a partir de la necesidad de la existencia de una causa que explique el cambio, y no tanto *legales*, en cuanto relación entre las magnitudes aplicada a un estado (Halbwachs, 1983). El que Oscar diga que A rebota (y no crea, por ejemplo, que sigue moviéndose en el mismo sentido), podría resultar una inferencia exclusivamente intuitiva. Su teoría causal implícita se asienta en un modelo teórico demasiado débil como para poder predecir el rebote mencionado; por lo que la respuesta del alumno es acorde con la hipótesis anteriormente mencionada de que las explicaciones causales coexisten con hechos legales añadidos “ad hoc” durante la instrucción.

(III)

E.- Sí; es una frase que tú has dicho textualmente.

A.- O sea: A tiene una energía y la pasa a B.

E.- ¿A pasa una energía a B?

A.- Sí, y B responde con la misma energía.

E.- ¿Una energía o una fuerza?... ¿Cómo es eso?

A.- O sea, una energía aplicada a la fuerza... No sé definir la fuerza.

E.- ... No sabes definir la fuerza... Vamos a intentar analizar ese punto, vamos a ver cómo percibes tú ese punto.

A.- O sea, que... (silencio)

Es claro que el evaluador ha advertido una idea confusa sobre el concepto de fuerza e insta al alumno a que lo aclare. A pesar de la intuitiva explicación de Oscar, el evaluador acaba consiguiendo que Oscar tome consciencia, nada más y nada menos, que no sabe definir qué es una fuerza, a pesar de haber utilizado esta palabra en su rotunda aplicación del Principio de Acción y Reacción, en (II). Se confirma pues la impresión expuesta en (I) cuando el sujeto hablaba indistintamente, de “fuerza” y de “energía”. Parece pues que lo que deseaba indicar era la transferencia de A a B (principalmente en esa dirección) de una magnitud “compulsiva” relacionada con el movimiento, como podría ser la *cantidad de movimiento*.

(IV)

E.- ¿Cómo percibes tú que A ejerce una fuerza en B?... Es que el verbo ese “produce”, no lo entiendo yo muy bien. ¿Produce...? ¿Como el que produce oxígeno, por ejemplo?
A.- A le da una fuerza.

La expresión “le da una fuerza” confirma ya claramente nuestra hipótesis anterior. La explicación causal de Oscar se basa en la idea de que algo se transfiere, pero no ha podido averiguar qué es. La búsqueda debería conducir al concepto de “impetus” medieval (Osborne, 1984), es decir, de cantidad de movimiento); pero no lo consigue porque no utiliza conceptos suficientemente definidos, como es característico de las etapas iniciales de formación del conocimiento científico (Vygotski,

1979). Además, utiliza el concepto de cantidad de movimiento de forma global e indiferenciada, es decir, sin discriminar los dos componentes de esta idea: masa y velocidad.

Por otra parte, se percibe en Oscar la necesidad de incorporar a su explicación la idea de *conservación de la energía*, como una teoría general que englobe coherentemente ambas leyes de conservación, la del momento lineal y la de la energía. Esta es otra de las características que diferencia a las teorías espontáneas de las científicas: la necesidad de los sujetos de elaborar explicaciones globales de los fenómenos, lo que se manifiesta en inferencias excesivamente holistas y sesgos de parsimonia (Montanero y cols., 2001).

(V)

E.- ¿Le da?
A.- Le da a B, que viene dada por la energía cinética que tenía A.
E.- ¿Le da?
A.- Sí

Este fragmento parece confirmar al evaluador que las respuesta de Oscar al test no reflejaron realmente su teoría implícita. Ante la interpelación del evaluador, parece como si el estudiante buscara la solución en la idea de que la energía se convierte en fuerza (I). Nuestra siguiente hipótesis podría ser que Oscar piensa que la energía cinética de A da fuerza a B; no en el sentido de transformación, sino de causa: de nuevo la explicación causal prevalecería sobre la legal en su mente.

(VI)

E.- ¿Le transfiere?

A.- [Silencio].

E.- Tú no te fíes de lo que yo digo... ¿Le da en el sentido de “le transfiere”?

A.- Sí.

E.- O sea, que A tiene una fuerza y se la da a B.

A.- Sí.

Se intenta averiguar si Oscar acepta una concepción muy característica de este tipo de teoría implícita: la idea de que la fuerza, a modo del *impetus* ya mencionado, se transfiere de un cuerpo a otro. El alumno ha tenido que realizar un esfuerzo en explicitar esta idea. Es un alumno muy inteligente y probablemente piense que se está “comprometiendo” demasiado. Es precisamente lo que ha pretendido el evaluador, conocedor de la dificultad de verbalizar una teoría que ha actuado siempre de forma subyacente. De todas formas, el alumno no parece estar a gusto con la palabra *transferir* e insiste en el verbo “dar”. Piensa en términos de energía pero, probablemente, superpone la idea de “fuerza” en el sentido ya mencionado en la hipótesis (b) de (I).

(VII)

E.- Bien. ¿Y de dónde le procede la fuerza a A?... Si es que procede de algún sitio... Si no estás de acuerdo con algo de lo que yo planteo, me lo dices tranquilamente. Sólo se trata de aclarar los términos que se emplean, que a veces son ambiguos... O sea, yo he interpretado que A lleva una fuerza.

A.- Lleva una fuerza y se la transmite.

El evaluador introduce los términos “tiene”, “lleva” o “transfiere” de forma

intencionada, para generar un conflicto en Oscar. El siguiente punto que lógicamente se ha de tratar es el de la procedencia de esa fuerza que lleva el cuerpo; y ésta es la intención de la pregunta. Obsérvese el sutil cambio de opinión que empieza a manifestarse en las respuestas del alumno como consecuencia de su reflexión y de la exigencia de detalles a que le somete el entrevistador. Ahora emplea el vocablo “transmitir”. Quizás sea menos comprometido que “transferir”, porque este último explicita más el hecho de que lo que A pierde, B lo gana. Es un punto importante ya que corrobora nuestra anterior hipótesis sobre la teoría implícita de Oscar, a saber, que no existe la exigencia, la necesidad lógica, de la conservación; le es suficiente con la explicación de que hay una transmisión, pero sin pensar en que A pierde. Las inferencias que derivan de las teorías implícitas no siguen reglas lógicas sino más bien pragmáticas, según la necesidad del momento. Por este motivo, ciertas predicciones no resultan incoherentes. Sin embargo, ese tipo de incoherencias no tienen por qué afectar al *núcleo fuerte* de aquellas ideas. Esta conclusión es acorde con la hipótesis de considerar las ideas espontáneas de los alumnos como auténticas teorías y no como meras preconcepciones aisladas. La diferencia epistemológica fundamental con las teorías científicas residiría más bien en que aquellas no llegan a formar un *modelo teórico* coherente.

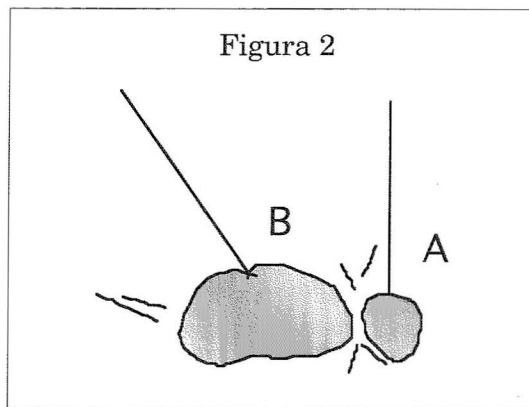
(VIII)

- E.- Pero, si A lleva una fuerza, ¿de dónde la ha cogido?
- A.- Si las dos masas estuvieran quietas, tendrían una pequeña fuerza de atracción, pero sería mínima...
- E.- [Interrumpe]... Sí, la fuerza de gravitación universal, ¿no?
- A.- Claro; pero entonces, al subir A, yo creo que la energía potencial que le damos se convierte en energía cinética y esa es la que le da la fuerza.
- E.- Bien. Y en la colisión, ¿A transfiere fuerza a B?
- A.- Y B a A.
- E.- Bien... A llevaba fuerza y la transfiere a B... pero, ¿B lleva fuerza?
- A.- [Gestos de negar].
- E.- Entonces, ¿cómo puede transferirla a A?
- A.- [Pausa]... Por el principio... Si B no lleva fuerza [dice, como pensando en voz alta y dudando]...
- E.- ¿Por el principio...?
- A.- Sí.
- E.- ¿Por qué principio?
- A.- Por el de acción y reacción... Pero, claro, si B no la llevaba... O sea... que B... tendría que tener otra fuerza para dársela, ¿no? ...[pausa]... Lo que no sabría es de dónde la cogería, porque si digo que A la coge de la energía, no sé de dónde la cogería B.
- E.- Puedes rectificar, o cambiar de opinión, ... lo que sea... Son respuestas muy abiertas.
- A.- [Largo silencio].

Oscar ha encontrado una contradicción lógica con la teoría que tan brillantemente iba explicitando. El evaluador intuye que en este último punto es donde se solapan las dos teorías, la implícita y la oficial, recientemente estudiada por Oscar (de ahí su insistencia). No obstante, debido a su sagacidad y probablemente a la calidad de la instrucción recibida, Oscar se

ha percatado rápidamente del conflicto conceptual al que la reflexión le ha conducido.

En el análisis de la figura 2, Oscar volverá a insistir en los mismos razonamientos. Al entrevistador le interesa, no obstante, que estos se centren en el Principio de Acción y Reacción.



(IX)

- E.- Bien... ¡Está muy bien analizado!, ¡eh!... Pasemos a la fig. 2. [Se presenta visualmente del ítem n° 2]
- A.- El planteamiento sería el mismo: B lleva una energía y toma una fuerza y se la transmite a A. Como tiene una masa pequeña, se produciría una aceleración ... pero a B, al ser la masa grande, no se le produce nada.
- E.- B ejerce una fuerza sobre A, ¿y A sobre B?
- A.- Sí, creo que sí... [pausa]... Sí, ¡claro!, si no produjera la fuerza, B seguiría.
- E.- ¿Es que B no sigue?
- A.- ¿Cómo?
- E.- ¿B no sigue? ¿Es que rebota?
- A.- Bueno ... ¿rebota o se queda ahí? Ahí no se quedaría, ... pero por la gravedad; no puede quedarse así: tendería a quedarse en su postura normal [señala con un gesto el hilo vertical (intentando matizar que, debido al volumen de las dos piedras, si B se parara exactamente en el punto de la colisión, que-

daría formando un pequeño ángulo con la vertical)].

E.- ¿No puede seguir su movimiento en el mismo sentido?

A.- [Asiente, ratificándose en lo que dijo antes].

E.- Y, entonces, allá donde se produzca la colisión, ¿ese es el punto límite del movimiento de B en la figura 2?

A.- [Asiente].

E.- Y, a partir de ese punto, retrocede, ¿no?

A.- Retrocede, pero no por la fuerza de A, sino por... ¡cómo lo diría yo!... por la inercia... porque se inclina [el hilo (se refiere de nuevo a la matización antes apuntada)].

E.- Sí, por la fuerza de la gravedad. Pero no vuelve por la fuerza que A le ha comunicado.

A.- Por esa, la neutraliza... se para... Vuelve por la gravedad...

E.- ...Y no continúa [la piedra B] hacia adelante, y A sale rebotada...¿No es eso?

A.- [Asiente].

E.- Y las fuerzas, ¿dices que son las mismas?

A.- [Silencio].

Esta velada alusión al Principio de Acción y Reacción que el entrevistador introduce constituye un momento crucial en el conflicto conceptual del que ya ha tomado consciencia Oscar. En síntesis, el núcleo del conflicto se manifiesta en el hecho de no saber interpretar de dónde procede la fuerza de B, que estaba en reposo. Se comprueba, por tanto, una vez más, que la alusión inicial al Princi-

pio de Acción y Reacción era más memorística que comprensiva. Pero, ¿cómo se puede explicar estas lagunas inferenciales en un alumno que ha demostrado saber razonar?. La explicación radica en otra importante característica de las preconcepciones: la utilización de un razonamiento marcadamente empirista, lo que limita las posibilidades inferenciales en un doble sentido. Por un lado aparecen restringidas a inducciones perceptivas (es sólo A la que actúa, B es pasiva). Por otro lado, la atención parece focalizarse en los *cambios* observados, abandonando las posibles inferencias que se derivarían de un análisis de los *estados* (B prácticamente no cambia). En consecuencia, B pasa desapercibida en el proceso de razonamiento de Oscar. Esta argumentación es coherente con lo que algunos autores denominan *teoría de la superficialidad* (Carrascosa y Gil, 1985). Otra interpretación de estos conflictos puede formularse en términos del *desajuste* ("decálages") de los estadios piagetianos por efectos de los contenidos de la tarea a resolver¹.

(X)

E.- ¿Por qué dices que son las mismas?

A.- ¿Que por qué las dos son las mismas ...?
[Silencio].

¹ Diversos autores se han apoyado en este tipo de errores de razonamiento sobre fenómenos físicos como una prueba de la inconsistencia de la teoría de los estadios del desarrollo. Sin embargo, el análisis de la entrevista no permite concluir que el sujeto manifieste errores sistemáticos en su sistema formal lógico. Más bien al contrario, la lógica formal de Oscar le lleva a plantearse un conflicto conceptual que el mismo confiesa no saber resolver, en algunos de sus aspectos; mientras que, sin embargo, algunos de otros problemas que le surgen los resuelve lógicamente, consiguiendo incluso formular una teoría. Otra cuestión muy distinta es que esa teoría no coincida con la oficial y que esté débilmente fundamentada en esquemas de acción primitivos.

E.- ¿Hay alguna condición física que diga que las dos [fuerzas] deben ser las mismas?

A.- [Largo silencio].

E.- ¿Aquí no interviene el Principio de Acción y Reacción?

A.- ¿Dónde, aquí... [señala la fig. 2 algo perplejo]?

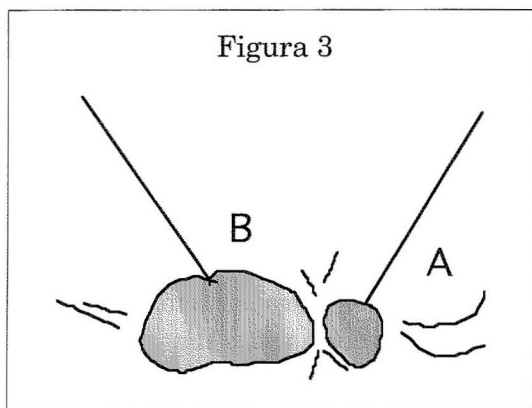
E.- En la figura 2, que es la que estamos analizando.

A.- Sí, sí, aquí también.

E.- ¡Será por esa razón ...!

A.- Sí, sí, igual que en la figura 1.

En un determinado momento el alumno ha sugerido que las dos piedras se transfieren mutuamente fuerzas iguales. Recuérdese que Oscar había dicho en (II), como el que repite una lección aprendida de memoria, que las dos fuerzas, según el Principio de Acción y Reacción, son iguales. Pero ahora, ante una pregunta tan directa como “¿y las fuerzas?, ¿dices que son las mismas?”, responde con un elocuente silencio.



(XI)

E.- Bien... era para explicitarlo... Bueno, sigue la duda de cómo un cuerpo parado puede transmitir fuerza! , ¡bien!. Ahora pasamos a la figura 3 [presentación visual de la figura 3].

A.- ¡Ah, sí, las fuerzas! ... Es que aquí [señala la figura 3] vienen las dos [piedras] ... No sé, será por el hecho de que ahora vienen las dos en movimiento.

E.- ¿por el hecho de que ahora vienen las dos en movimiento?

A.- Sí.

E.- O sea, ¿que tú piensas que es distinta la fuerza que tiene un cuerpo cuando está en movimiento a la que tiene cuando está parado?

A.- Sí ... [pausa] ... Según también qué tipo de fuerzas.

E.- ¿Qué quieres decir? ¿A qué tipo de fuerzas te refieres?

A.- O sea, si es a la fuerza que transmite otro cuerpo, o a la fuerza que tiene parado ... Sí, yo creo que son distintas

E.- ¿Distingues tipos de fuerzas, según este análisis? ¿Qué tipos de fuerzas serían esas? Primero,...

A.- ¿Qué tipos de fuerzas? ... La fuerza de la gravedad, la fuerza que tiene un cuerpo parado...

E.- [Repite, como pensando en voz alta] ... Fuerza que tiene un cuerpo por efecto de la gravedad; fuerza que tiene un cuerpo...

A.- [Interrumpe] ... Fuerza que tiene, no; fuerza a la que está sometido.

E.- De acuerdo: fuerza a la que está sometido un cuerpo por efecto de la gravedad...

A.- Y la que tiene luego un cuerpo que está en movimiento.

E.- ¿No a la que está sometido, sino la que *tiene* [énfasis] en movimiento?... Cambias el verbo, ¿verdad?

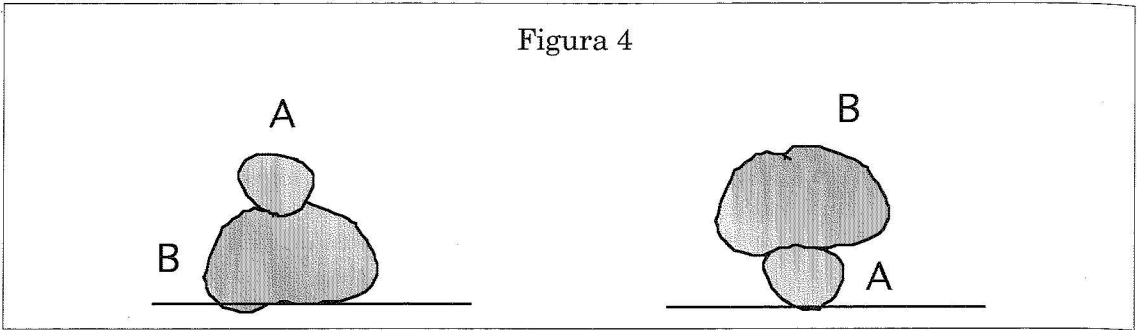
A.- [Gesto de asentir].

E.- Y luego fuerza cuando está parado, ¿y que “tiene”?...

A.- Que *tiene* [ratificando].

El evaluador había creído entrever en la tercera respuesta de Oscar que éste razonaba implícitamente con dos tipos de fuerzas. Por eso trata de averi-

Figura 4



guar si el alumno puede aclarar la distinción verbal entre “estar” y “tener”, ya que se trata de la característica por la que distingue los dos tipos de fuerzas mencionados. Hasta que no se llega a este extremo, no comienza Oscar a percatarse de la necesidad de explicitar su idea sobre los dos tipos de fuerzas. A partir de ahora quedan explicitados en la teoría implícita de Oscar, como los agentes causales del cambio. Desde luego, ni siquiera se insinúa la posibilidad de que Oscar razone utilizando el concepto de *estado*, por el contrario, sus explicaciones están en todo momento dirigidas a explicar los *cambios*.

(XII)

- E.- Bien. Ahora me entero mejor del análisis ...Bueno, Oscar, vamos a terminar ya. Vamos a ver las situaciones 4 y 5 ... Así que decías que los tipos de fuerzas eran la gravedad y la que tiene un cuerpo. Y la que tiene pueden ser dos: en movimiento y en reposo. ¿Verdad? [Presentación visual de los ítems 4 y 5]
- A.- En la primera situación: A ejerce una fuerza sobre B, que es su peso ...O sea, la masa por la aceleración de la gravedad, que sería su peso, y esa es la fuerza que ejerce sobre B. Y B ejerce otra fuerza sobre A, igual, para mantenerlo, porque si no se hundiría... Sería

aplicar también aquí el Principio de Acción y Reacción.

E.- ¿Y en la figura 5?

A.- ¿En la última figura?...Sería igual... Bueno, no sé si esto viene bien aquí: se podría caer B.

E.- Está en equilibrio.

A.- ¿Hay equilibrio? Entonces, en esta última, B ejerce una fuerza sobre A que es la fuerza de su peso, y A, como antes, la neutraliza para mantener el equilibrio. Lo mismo que en la situación anterior.

Finalmente, el entrevistador ha intuitido que Oscar está buscando alguna relación causal en la que apoyar su razonamiento, como podría ser la falta de equilibrio, y se apresura a clarificar la cuestión. La aplicación, en este caso del tercer principio, es rápida y contundente y podríamos decir que casi perfecta. De hecho, hay un nuevo matiz muy revelador: la explicación que se da es también *causal*. Obsérvese que Oscar dice: “porque si no se hundiría”; o también: “para mantener el equilibrio”. Se trata de una inferencia teleológica, es decir, en una explicación de finalidad (ya abordada en la teoría piagetiana, recogiendo la teoría causal de Aristóteles). Este error es muy frecuen-

te, incluso en las explicaciones de los profesores y en algunos libros de texto. Como se sabe, el error estriba en no comprender que el Principio de Acción y Reacción también se cumple aunque el cuerpo que está debajo se hunda, se aplaste o se rompa. El tercer principio es de carácter *legal*: se aplica a las relaciones sistémicas que definen los *estados* (en todos los cuales se cumple la igualdad de las fuerzas opuestas), independientemente de los cambios que se produzcan.

A modo de conclusión

El análisis de la entrevista a Oscar, así como las 17 entrevistas restantes, nos aportaron una información relevante para el estudio de las teorías implícitas en Dinámica. Por un lado, el estudio de un alumno con una elevada capacidad intelectual y buen rendimiento académico nos ha mostrado la excesiva generalización que supone reducir los mecanismos generación de las teorías implícitas a la adquisición de operaciones formales, como la cuantificación y control variables. Por el contrario, las respuestas del sujeto manifestaban otro tipo de sesgos que podríamos denominar situacionales. En el fragmento IV, por ejemplo, comprobamos la tendencia de Oscar a establecer una causalidad mínima, enfatizando unas causas por encima de otras. El sesgo que denominábamos de *parsimonia* está íntimamente ligado a

otras distorsiones relacionadas con la *accesibilidad, semejanza o distintividad* de una causa, a la que no solo le otorga más relevancia, sino que tiende a disminuir el valor psicológico de las concurrentes (Driver y cols., 1989; Montanero y cols., 2001).

Todas ellas podrían explicar la tendencia del sujeto a inferir relaciones causales, simples y lineales, en la aplicación del Principio de Acción y Reacción, en detrimento de otras posibles relaciones de interacción “sistémica”. Esta organización de las variables en los modelos mentales que construye el alumno dificulta, en consecuencia, la comprensión de los “cambios” observados como una sucesión de estados que se conservan y reequilibran constantemente, así como las relaciones “legales” que sustentan muchos principios y teorías científicas (IX y XI).

Por otro lado, algunas respuestas del sujeto revelaban diversos *errores de coherencia* lógica que no habían entrado, hasta entonces, en conflicto con su conocimiento de la teoría científica. Esta situación parece tender a mantenerse, entre otras razones por la tendencia del alumno a utilizar espontáneamente *estrategias de verificación*, más que de *falsación*, a pesar de que se trata de un sujeto con capacidad para aplicar esquemas de control de variables. Ello apoya la idea de que la verificación, como estrategia de inducción de las afirmaciones de la teoría implícita, tiene sobre todo un origen motivacional, dado que permite una predicción eficaz (aunque

por supuesto no exacta) de los fenómenos físicos cotidianos. Probablemente, cuanto más se aproxime la situación de evaluación a un escenario cotidiano, las preconcepciones y sesgos de razonamiento estarán más influidos por las metas y demandas funcionales del escenario en que se “negocian” los diversos modelos.

Finalmente, el estudio del caso mediante la técnica de entrevista “en profundidad” supone una prueba muy significativa del riesgo de abordar la investigación de ciertas cuestiones educativas con métodos exclusivamente cuantitativos y muy estructurados. La contradicción con los datos cuantitativos obtenidos con Oscar en la anterior investigación supone un claro ejemplo de como algunos alumnos son capaces de mostrar en determinados escenarios respuestas aparentemente científicas sin que se haya producido un auténtico cambio conceptual. La observación de dibujos más realistas que representen fenómenos cotidianos no garantiza que aflore la teoría implícita del alumno en todos los casos. La entrevista *en profundidad* ofrece una situación esencialmente dinámica e interactiva, donde el entrevistador, al tiempo que recoge información cualitativa, debe generar conflictos cognitivos adecuados al tipo de inferencia que realiza el sujeto.

Referencias bibliográficas

ARNAL, J. y DEL RINCÓN, D. (1992). *Investigación educativa: fundamentos y metodología*. Barcelona: Labor.

- BUNGE, M. (1978). *Filosofía de la Física*. Barcelona: Ariel.
- CARRASCOSA J. y GIL, D. (1985). La “metodologia de la superficialitat” i l’aprenentatge de les Ciències. *Ensenyanza de las Ciencias*, 3 (2), 113-120.
- CLAXTON, G. (1987). *Vivir y aprender*. Madrid: Alianza.
- DRIVER, R. y ENGEL, E. (1985). Secondary students’ conceptions of the education of heat: bringing together personal and scientific views. *Physics Education*, 20, 176-182.
- ELLIOT, J. (1990). *La investigación-acción en educación*. Madrid: Morata.
- HALBWACHS, F. (1983). La Física del profesor entre la Física del físico y la Física del alumno. En C. Coll (eds.), *Psicología genética y aprendizajes escolares* (pp. 143-166). Madrid: Siglo XXI.
- KARMILOFF-SMITH, A. (1992). *Beyond modularity*. Cambridge, University Press.
- MARÍN, I. (1999). Delimitando el campo de la aplicación del cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), 79-82.
- MONTANERO, M. (1994). *Aplicaciones de nuevos elementos al modelo constructivista de enseñanza/aprendizaje. Aplicaciones a la enseñanza de la Física* (Tesis doctoral). Universidad de Extremadura.
- MONTANERO, M., SUERO, M. I. y PÉREZ, A. L. (1995). A survey of students’ understanding of colliding bodies. *Physics Education*, 30, 277-283.

- MONTANERO, M., PÉREZ, A. L., SUEIRO, M. I. y MONTANERO, M. (2001). Cambio conceptual y enseñanza de la física. Aplicaciones en el marco de la teoría de la elaboración. *Revista de Educación*, 325 (en prensa).
- OSBORNE, R. (1984). Children's Dynamics. *Physics Teacher*, 22 (8), 504-508.
- PIAGET, J. (1978). *La equilibración de las estructuras cognitivas*. Madrid: Siglo XXI.
- PIAGET, J. y GARCÍA R. (1982). *Psicogénesis e Historia de las Ciencias*. Madrid: Siglo XXI.
- PIAGET, J. e INHELDER, B. (1985). *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Barcelona: Paidós.
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W. y GERTZOG, W.A. (1982). Acomodation of Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66, 211-227.
- POZO, J. I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.
- POZO, J. I. (1997). El cambio sobre el cambio: hacia una nueva concepción del cambio conceptual en la construcción del conocimiento científico. En M. J. Rodrigo y J. Arnay (eds.), *La construcción del conocimiento escolar* (pp. 155-176). Barcelona: Paidós.
- POZO, J. I. (1999). Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de las ciencias como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 513-520.
- RODRÍGUEZ, G., GIL, J. y GARCÍA, E. (1999). *Metodología de la investigación cualitativa*. Archidona: Aljibe.
- RODRIGO, M. J. (1997). Del escenario sociocultural al constructivismo epistémico: un viaje al conocimiento escolar de la mano de las teorías implícitas. En M. J. Rodrigo y J. Arnay (eds.), *La construcción del conocimiento escolar* (pp. 177-194). Barcelona: Paidós.
- SERÉ, M. G. (1986). Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. *European Journal of Science Education*, 8 (4), 413-425.
- SOLANO, I., JIMÉNEZ, E., MARÍN, N. (2000). Análisis de la metodología utilizada en la búsqueda de "lo que al alumno sabe" sobre fuerza. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), 171-188.
- VYGOSTKI, L. S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Crítica.