

# A la búsqueda de la génesis del método científico: un estudio sobre la capacidad de eliminar hipótesis<sup>1</sup>

Mario Carretero\*

Universidad Autónoma de Madrid

## INTRODUCCION Y OBJETIVOS

En el artículo anterior (Pozo y Carretero, en este número) hemos discutido una buena parte de los problemas fundamentales que se plantean en las relaciones entre el estudio del desarrollo cognitivo y la enseñanza de las ciencias. Allí puede verse, una vez más, cómo los datos de las investigaciones psicológicas no pueden aplicarse de manera unívoca a la solución de los problemas educativos, entre otras razones porque los propios datos de las investigaciones psicológicas —concretamente piagetianas— se están viendo sometidos a una profunda renovación en los últimos años. En esta misma orientación pretendemos plantear en este artículo algunas aportaciones relevantes para la enseñanza de la ciencia que, en nuestra opinión, han sido más bien descuidadas tanto por los que se han basado en la teoría de Piaget como por los investigadores de las numerosas «ideas espontáneas» o «concepciones erróneas». Nos referimos a los aspectos metodológicos de la comprensión de la ciencia. Por decirlo de una manera concisa, lo que queremos sacar a relucir es que para entender cabalmente los conceptos científicos no sólo es preciso asimilar las redes conceptuales correspondientes sino también los entresijos de los métodos de comprobación de hipótesis y en general de validación de las teorías científicas.

Como es sabido hace poco más de 30 años, Inhelder y Piaget (1955) publicaron un libro —*De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent*— en el que se caracterizaban el estadio de las operaciones formales y, por ende, las capacidades intelectuales que se adquieren durante la adolescencia y que constituyen la inteligencia adulta. Mucho ha llovido desde entonces en la psicología y no es poco lo que se ha producido sobre este tema en las dos últimas décadas (Neimark, 1975 y 1980; Carretero, 1985), pero creo que hoy día todos los que trabajamos sobre el desarrollo cognitivo en la adolescencia y la vida adulta estamos de acuerdo en mantener que el libro de Inhelder y Piaget ha sido la obra clave en torno a la cual se han situado las investigaciones posteriores. En ella encontramos que uno de los rasgos típicos de las operaciones formales es la capacidad de *formular y comprobar hipóte-*

\* Dirección del autor: Departamento de Psicología Básica, Social y Metodología. Facultad de Psicología. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid.

sis, lo cual permite al sujeto de más de 12 años, aproximadamente, despegarse del pensamiento concreto, ligado a los objetos y a las acciones sobre éstos, para adquirir el pensamiento sobre lo posible que, como es sabido, versa sobre elementos más abstractos como son las proposiciones verbales.

No parece que haya que insistir mucho en la importancia teórica y práctica que tiene la capacidad de formular y comprobar hipótesis. Los filósofos y metodólogos de la ciencia, desde Popper a Sneed y Stegmüller, pasando por Khun y Feyerabend, llevan décadas discutiendo acerca de cómo los hombres de ciencia utilizan el método científico, en el que la comprobación de hipótesis cumple un destacado papel. La historia de la ciencia es el ámbito en el que han trabajado estos autores, pero, como diría Piaget, todo científico ha sido niño antes de ser científico. Por tanto, las investigaciones psicológicas sobre la génesis del método científico —en este caso sobre uno de sus aspectos— pueden apuntar hallazgos de interés a la filosofía y metodología de la ciencia. Así lo han considerado, por ejemplo, Tweney, Doherty y Mynatt (1981) en su libro —*On Scientific Thinking*— en el que establecen interesantes comparaciones entre la historia de la metodología científica y las investigaciones psicológicas sobre el razonamiento humano.

En cuanto a las implicaciones prácticas de este tema pueden citarse, en primer lugar, las referentes a la educación. Es obvio que el desfase existente entre la complejidad de los contenidos escolares y la capacidad intelectual de los niños y adolescentes es una de las razones que explican la escasa asimilación de lo que se imparte en el aula. En este sentido, los alumnos necesitan utilizar correctamente el método científico para comprender una gran cantidad de contenidos escolares, sobre todo en los dos últimos años de la E.G.B. y el B.U.P. Sin embargo, como veremos en los resultados de este trabajo, bastantes sujetos adolescentes y adultos tienen sus propias ideas sobre la comprobación de hipótesis que son muy diferentes a las que se supone que deberían tener (Carretero, 1985; García Madruga y Carretero, 1985).

Por otro lado, formular y comprobar hipótesis es algo más necesario de lo que parece para nuestra actividad cotidiana. Utilizamos, o deberíamos utilizar, hipótesis cuando intentamos detectar la causa de una avería eléctrica en nuestra casa o cuando no sabemos por qué el asado ha quedado tan poco apetitoso. En ambos casos partimos de una posible razón, cuyo efecto comprobamos aislando su influencia de los demás factores mediante las estrategias combinatorias y eliminatorias cuya evolución Inhelder y Piaget (1955) fueron los primeros en estudiar. Otra publicación que muestra el interés actual por este tema es el libro de Elstein, Shulman y Sprafka (1978) —*Medical Problem Solving*— en el que se muestran los resultados de ingeniosos experimentos —incluso con pacientes simulados— mediante los que se han detectado las principales fuentes de error que cometen los médicos cuando realizan sus diagnósticos. En esta misma línea se encuentran las investigaciones sobre el razonamiento de las personas que tienen que emitir un veredicto al formar parte de un jurado (por ejemplo, Kuhn, Pennington y Leadbeater, 1984). Por otro lado, sin entrar en esta ocasión en planteamientos demasiado generales creemos que no resulta excesivo afirmar que una de las características de la psicología actual, frente a la de hace algunas décadas, es ofrecer una imagen del sujeto como activo generador y comprobador de hipótesis aunque no siempre lo haga con éxito (Nisbett y Ross, 1980).

La investigación que se expone más adelante se sitúa en una línea piagetiana pero también ha considerado las útiles aportaciones de la psicología cognitiva actual, sobre todos los trabajos de Wason acerca del uso de la falsación en problemas hipotéticos deductivos (Wason, 1960, 1968, 1969; Wason y Johnson-Laird, 1968, 1972; Delval, 1975 y 1977). Estas investigaciones han puesto de manifiesto que la eliminación de hipótesis, mediante la falsación, es algo bastante costoso para los sujetos adultos y mucho más difícil que la verificación. Puede decirse entonces que los sujetos no sólo tienen una tendencia a no descartar una hipótesis cuando piensan que es cierta, aunque existan algunos ejemplos que muestran que es falsa, sino que también tienen dificultades para entender la utilidad de la falsación en la resolución de problemas hipotéticos-deductivos.

El objetivo fundamental que nos proponíamos al realizar nuestro trabajo era investigar cómo utilizaban los niños y adolescentes de diferentes edades tres aspectos centrales del método científico: la comprobación, modificación y eliminación de hipótesis. Sobre los dos primeros aspectos ya hemos presentado los resultados en otro lugar (Carrero, 1979, 1980 y 1984) y encontramos, en términos generales, los siguientes aspectos:

— Los niños y adolescentes tienen dificultades claras para comprobar hipótesis, incluso si las encuentran ya formuladas.

— Estas dificultades son distintas en las diferentes edades. Las más notorias, a grandes rasgos, son la incapacidad para llegar a una conclusión definitiva sobre si la hipótesis es verdadera o falsa (estrategia de resistencia a la falsación) que predomina a los nueve años y la tendencia a entender las hipótesis, que son enunciados condicionales, como si fueran enunciados bicondicionales, que predomina durante toda la adolescencia.

— Otra dificultad importante, que aparece en todas las edades, es la tendencia a verificar las hipótesis ignorando las instancias o situaciones que muestran su falsedad.

— Esta dificultad parece deberse a la resistencia que muestran los niños y adolescentes a abandonar las ideas que, espontáneamente, tienen sobre un fenómeno.

— La capacidad para modificar hipótesis, tal y como ha sido estudiada en estos experimentos, parece plantear menos dificultades que la comprobación ya que la poseen un 75 por 100 de los sujetos de 14 y 16 años. No obstante conviene no olvidar que el hecho de modificar una hipótesis no supone, en sí mismo, la formulación de otra más correcta o compleja.

Es importante hacer notar que tanto los experimentos de los que se han obtenido las conclusiones anteriores, como el que se va a exponer a continuación coinciden parcialmente con los resultados de Wason, pero se diferencian en un aspecto importante. Mientras que Wason utilizó situaciones abstractas con un contenido arbitrario (letras, números, figuras geométricas, etc.) nosotros hemos preferido un material más «realista» y más relacionado, por tanto, con los contenidos escolares, para que no pudiera objetarse que las dificultades encontradas se debían a la escasa significación del contenido de la prueba.

## METODO

### Sujetos

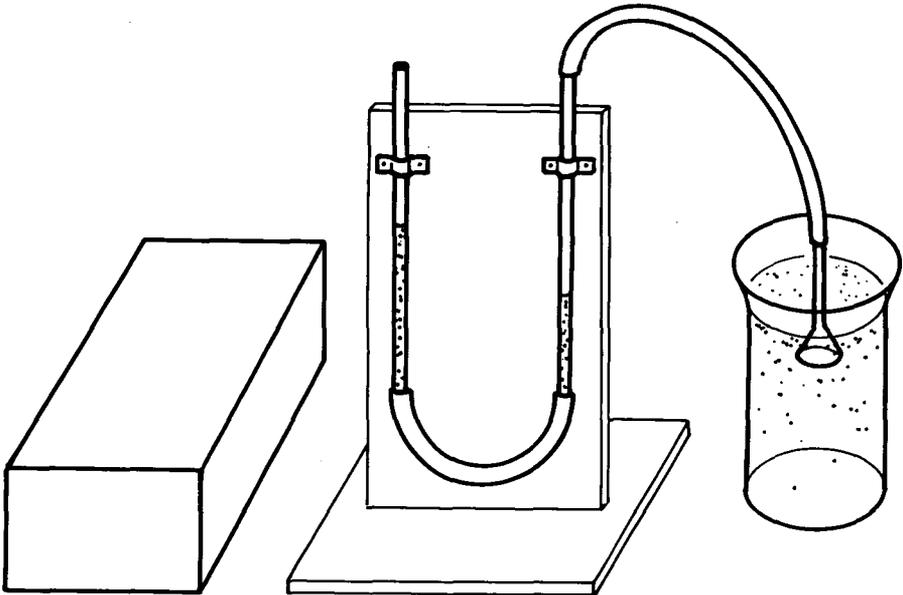
Se entrevistaron a diez sujetos de 8, 10, 12 y 14 años y ocho de 16 años. Los niños y adolescentes entre 8 y 14 años, inclusive, alumnos de E.G.B., pertenecían a un Colegio Nacional de Madrid, que se encuentra situado en el centro de la ciudad y al que asisten alumnos de clase media-baja. Los adolescentes de 16 años, alumnos de B.U.P., procedían de un Instituto Nacional de Enseñanza media también de Madrid, que tenía unas características similares al colegio citado. Se utilizó el método clínico, como es habitual en este tipo de trabajos.

### Material

Se utilizó un dispositivo, que se presenta en la Figura 1, conocido en el ámbito de la física como «medidor de presión o manómetro»<sup>2</sup>. Las superficies horizontal y vertical eran de madera y medían 9 cm. de largo y 20 cm. de ancho, y 30 cm. de alto y 15 cm. de ancho, respectivamente. El tubo que se introducía en los frascos tenía 55 cm. de largo, era de plástico flexible y acababa en un embudito de cristal de 4 cm. de diámetro.

FIGURA 1

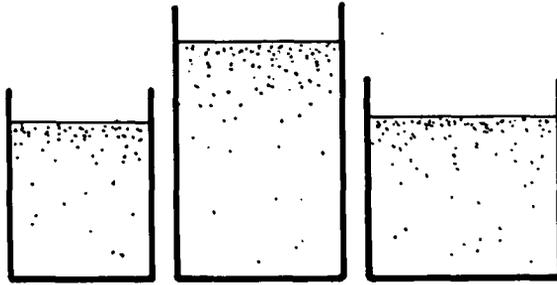
*Representa el manómetro utilizado en esta investigación. A la izquierda se encuentra la caja de cartón que se usaba para la comprobación de la hipótesis 3. Como puede verse, el agua del tubito izquierdo del manómetro asciende en cuanto se sumerge el embudo en un recipiente con agua. La magnitud de esta subida depende exclusivamente de la altura del vaso o recipiente.*



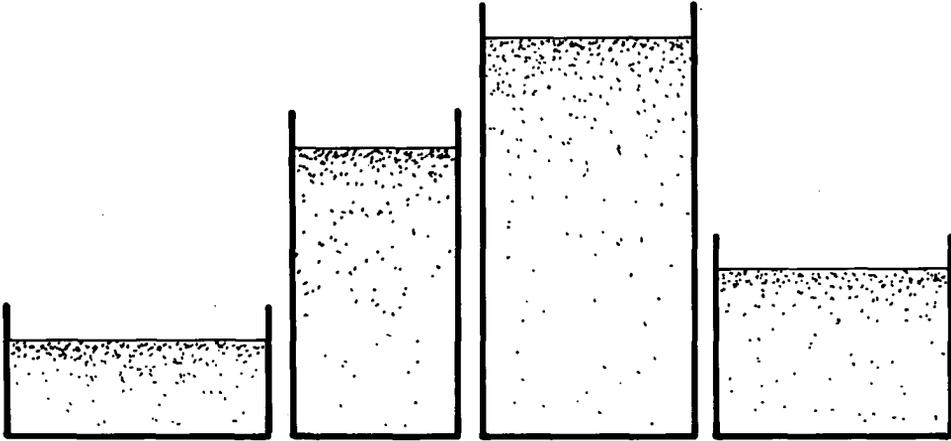
Se utilizaron siete frascos de cristal que aparecen dibujados, conservando proporcionalmente sus medidas, en la figura 2. Cada recipiente llevaba una letra para facilitar la anotación de las respuestas del sujeto. Como puede verse, no hay ninguna relación entre el orden de las le-

FIGURA 2

Vasos con agua utilizados en esta investigación. En la parte inferior se indica su altura y capacidad. Recuérdese que el único factor causante de la mayor o menor subida del agua del manómetro es la altura del recipiente en el que se sumerge el embudo y no su volumen de agua o cualquier otro factor.



	B	G	D
ALTURA:	8 cm	12 cm	8,5 cm
CAPACIDAD:	130 cm <sup>3</sup>	330 cm <sup>3</sup>	240 cm <sup>3</sup>



	E	A	F	C
ALTURA:	5,5 cm	13 cm	19 cm	2 cm
CAPACIDAD:	500 cm <sup>3</sup>	250 cm <sup>3</sup>	600 cm <sup>3</sup>	400 cm <sup>3</sup>

tras y el orden, según el tamaño, de los recipientes. Se evitó esta posible relación para que los sujetos no pudieran obtener información de las letras que llevaban los recipientes.

Tal y como indica la Figura 1, el tubito de cristal adherido a la tabla tenía un poco de agua que, al introducir el embudo en cualquiera de los frascos con agua, subía hacia arriba. Como es sabido *la magnitud de esta subida* depende, exclusivamente, de la *altura* del recipiente y no de aspectos como la cantidad de agua, la anchura del recipiente, la longitud del tubito o cualquier otro. Esto se debe, obviamente, a que la presión que ejercen los líquidos depende solamente de su altura<sup>3</sup>.

También se utilizaron tres tarjetas de 14 cm. por 9 cm. con las siguientes frases (hipótesis):

1. El agua del tubito sube más cuando hay más agua en el vaso.
2. El agua del tubito sube más cuando el nivel del agua está más alto.

3. El agua del tubito sube más cuando el tubito está más alto.

La hipótesis 3 se refiere a la posición en que se encuentra el tubito que está adherido a la plataforma de madera. Para cambiarlo de posición y situarlo en un nivel más alto que el de los recipientes con agua, se utilizó una caja de cartón de 28 cm. de largo, 18 cm. de ancho y 10 cm. de alto, sobre la que se podía situar la plataforma con el tubito adherido a ella.

### Procedimiento

Se comenzaba presentando al niño el dispositivo y los recipientes llenos de agua. Se le decía:

Mira, aquí tienes este tubito en esa madera y estos vasos de agua. El tubito tiene un poco de agua que ahora está a la misma altura en las dos partes del tubito, pero si se mete este embudo en cualquiera de los vasos (se introducía levemente en varios vasos) puedes ver que el agua del tubito sube. A ver, hazlo tú.

Una vez que el sujeto había comprobado por sí mismo la subida del agua del tubito, se le decía:

Aquí tenemos unas cosas que han dicho unos chicos sobre este tubito, pero no sabemos si son verdad o mentira. Las tenemos apuntadas en estas tarjetas. Te las vamos a enseñar. Tú tienes que leerlas bien, enterarte e intentar saber si son verdad o mentira. Para saber si son verdad o mentira puedes meter el embudo en los vasos que quieras, y hacer lo que quieras, pero no olvides que el embudo debes meterlo hasta el fondo del vaso. Lee la tarjeta 1 (la leía). Ves, quiere decir que cuanto más agua hay en el vaso, más sube. Lee la tarjeta 2 (la leía) quiere decir que el agua del tubito sube más cuando el vaso es más alto, pero con agua, porque si no tiene agua no sube. Lee la tarjeta 3 (la leía) quiere decir que el tubito sube más cuando está más alto. Para ponerlo alto puedes coger esta caja.

Si al leer alguna de las hipótesis, los sujetos parecían no entender correctamente su significado, se les explicaba hasta que lo entendieran.

Las tres tarjetas que contenían las hipótesis se presentaban simultáneamente ya que el objetivo de este experimento era ver si el alumno era capaz de eliminar hipótesis. Por tanto, se supuso que al presentarse las hipótesis no sucesivamente sino a la vez, se favorecía la necesidad de eliminar alguna o algunas de las hipótesis. Es decir, que en el caso de considerar varias hipótesis, le sería más fácil al alumno comprender que es contradictorio que un mismo fenómeno se explique mediante varias hipótesis que se refieren a distintas causas. Una vez presentadas las hipótesis, el sujeto solía comenzar a hacer las pruebas pertinentes para conocer la verdad o falsedad de una de ellas. El orden en que éstas eran consideradas por los sujetos era variable, ya que al tener presentes todas las hipótesis a la vez, podrían comenzar por la que quisieran. Por supuesto, se preguntaba a los sujetos a qué se debían las acciones que emprendían con el embudo y los recipientes, así como las comparaciones que establecían entre ellos. Al final de la entrevista se les preguntaba acerca de la verdad o falsedad de cada una de las hipótesis, aunque ya lo hubieran mencionado antes.

Quizás convenga, antes de exponer los resultados obtenidos, comentar cómo se puede llegar a la comprobación correcta y, por tanto, a la eliminación de la 1 y la 3.

*Hipótesis 1:* «El agua del tubito sube más cuando hay más agua en el vaso.»

Si se comparan dos vasos con mucha y poca agua, respectivamente, sin atender a más razones, puede creerse que esta hipótesis es verdadera. Por ejemplo, si el sujeto compara la subida producida por la introducción del embudo en el vaso F con la producida por el vaso C observa que es mayor la del vaso F. Como el vaso F tiene más agua, llega a la conclusión de que la hipótesis 1 es cierta. Esta conclusión verificadora de la hipótesis 1 puede obtener también mediante la comparación del C con el E o del F con el B, es decir, siempre que al comparar dos vasos, uno sea más alto, y, a la vez, tenga más agua. Ahora bien, si el sujeto utiliza una estrategia falsadora, y compara un vaso que tenga más agua que otro, pero no sea más alto que este otro, por ejemplo, el E con el B o el C con el A verá cómo la mayor subida del agua del tubito la produce el vaso más alto y no el que tiene más agua y que, por tanto, la hipótesis es falsa.

*Hipótesis 2:* «El agua del tubito sube más cuando el nivel del agua del vaso es más alto.»

Es obvio que siempre que se compare un vaso con otro que sea más bajo, el primero producirá, una vez introducido el embudo, una subida mayor del agua del tubito. Esto ocurrirá siempre, es decir, que no influye en absoluto el que el vaso más alto tenga más o menos agua que el que es más bajo. Algunas de las comparaciones que el sujeto debería llevar a cabo serían, G-B, F-G, A-B, o cualquiera de las citadas en la falsación de la hipótesis 1.

*Hipótesis 3:* «El agua del tubito sube más cuando el tubito está más alto.»

La comprobación de esta hipótesis consiste, simplemente, en colocar la plataforma de madera con el tubito adherido sobre la caja de cartón, de tal manera que el tubito esté más alto que los recipientes con agua. Una vez hecho esto, basta con introducir el embudo en cualquiera de los vasos con agua, y comparar la magnitud de la subida con la que se produce, en el mismo vaso, cuando el tubito no está sobre la caja de cartón. Como la magnitud de la subida es idéntica en ambos casos, se puede llegar a la conclusión de que la hipótesis es falsa.

## Hipótesis

Según lo expuesto anteriormente, se establecieron las siguientes hipótesis:

a) Los sujetos no resolverán correctamente este problema, es decir, no lograrán eliminar la hipótesis falsa 1 —«el agua del tubito sube más cuando hay más agua en el vaso»— hasta los 14-16 años, ya que en esa edad es cuando parecen haber adquirido el pensamiento formal, que les puede permitir la aplicación del esquema «permaneciendo igual todo lo demás» y, mediante él, la disociación de variables.

b) La hipótesis 3 —«el agua del tubito sube más cuando el tubito está más alto»— resultará mucho más sencilla de falsar que la hipótesis 1, puesto que hace referencia a un aspecto —la altura a la que se encuentre situado el manómetro— cuyo análisis no requiere más que un tipo de pruebas, que consiste en comparar los efectos de la ausencia de este aspecto con los de su presencia<sup>4</sup>. Además, los resultados de esta comparación son falsadores en todos los casos, mientras que en la hipótesis 1 a veces son falsadores y a veces verificadores. Se puede pre-

decir la falsación de esta hipótesis en la edad de las operaciones concretas (7-12 años)<sup>5</sup>.

c) Por lo que respecta a la hipótesis 2, que es la verdadera —«el agua del tubito sube más cuando el nivel del agua del vaso es más alto»— se puede predecir que resultará igual de fácil que la hipótesis 3, ya que sólo es preciso utilizar la verificación.

## RESULTADOS

El análisis de conjunto de los resultados conduce al establecimiento de tres etapas, por las que parecen pasar los sujetos hasta alcanzar la resolución del problema (Tabla 1). Como se verá a lo largo de la exposición de las características de estas etapas, la hipótesis *a*) sólo se ha confirmado parcialmente. La tarea de eliminación de hipótesis no se ha resuelto hasta los 14-16 años, como se preveía, pero incluso en esas edades la cantidad de sujetos que la resuelven es pequeña.

TABLA 1

ETAPAS	EDADES				
	8	10	12	14	16
I. Ausencia de la capacidad de comprobación.	2	3	—	—	—
II. A. Comprobación con dificultades y sin eliminación.	6	3	—	1	1
II. B. Comprobación correcta sin eliminación.	1	3	7	6	3
III. Eliminación mediante la falsación.	1	1	3	3	4

N=48; 10 de 8, 10, 12, 14 años y 8 de 16 años.

Por lo que respecta a las otras hipótesis, *b*) y *c*), parecen claramente confirmadas en cuanto que la acertada comparación de las hipótesis 2 y 3 se ha producido desde la segunda etapa, es decir, casi desde los 8 años y, por lo tanto, han resultado más fáciles que la hipótesis 1.

### Primera etapa: Ausencia absoluta o casi absoluta de la capacidad de comprobación

Los sujetos de esta etapa, de 8 y 10 años todos ellos, no entienden el problema en un sentido hipotético, es decir, que éste requiere efectuar unas comprobaciones. Por el contrario parecen considerarlo como si las hipótesis describieran la realidad y ellos simplemente tuvieran que corroborar esa descripción. La característica más importante de su comportamiento es que no comparan el efecto de la introducción del embudo en diferentes recipientes. Veamos un ejemplo:

JIM, 10; 7: —¿La primera frase? («El agua del tubito sube más cuando hay más agua en un vaso»). —¿Si es verdad o mentira? —Sí. (Mete el embudo en C, con mucha agua.) —Es verdad. —¿Por qué? —Porque lo he metido en el vaso y sube (el nivel del agua en el manómetro).

—¿Por qué lo has metido en ese vaso? —*Para comprobar que el nivel del tubito con el vaso del agua sube.* —Pero, ¿por qué en ese vaso? —*Porque tiene más agua.* —¿Y cuando lo metes en ese vaso...» (el agua de) *el tubito sube.* —¿Por eso es verdad? —*Sí.* —¿Entonces la primera es verdad? —*Sí.* —¿Y la segunda? («El agua del tubito sube más cuando el nivel del agua del vaso es más alto») (Mete el embudo en F, el más alto, con más agua). —*Es verdad.* —¿Por qué? —*Porque cuando he metido el embudo en el vaso alto (F), el nivel del agua (del manómetro) sube.* —¿Y la tercera? («El agua del tubito sube más cuando el tubito está más alto»). —*También.* ¿Por qué —*Porque si metemos en un vaso el embudo y subimos arriba el tubito (encima de la caja de cartón), el nivel (de agua) del tubito sube también.*

Como puede verse, el sujeto emite unos juicios sobre la verdad o falsedad de las hipótesis que se le presentan, pero en realidad, no ha llevado a cabo ni una sola comprobación que le permita saber si, como dice, las tres hipótesis son verdaderas. Para ello, tendría que haber realizado, al menos, algunas comparaciones, entre los recipientes, como hacen los sujetos de la segunda etapa. También se ha incluido en esta etapa a los sujetos que sólo son capaces de comprobar la hipótesis más fácil, es decir, la 3, ya que esta realización no parecía suficiente para considerar que los sujetos habían adquirido claramente la capacidad de comprobar las hipótesis.

## Segunda etapa: Comprobación de la hipótesis pero sin lograr eliminar la más difícil (hipótesis 1)

*Subetapa 2A:* En esta subetapa los sujetos, en su mayoría de 8 y 10 años, ya comienzan a comprobar las hipótesis y no parecen considerarlas como simples descripciones. Ahora bien, el procedimiento que utilizan contiene aún muchos defectos que impiden alcanzar la solución correcta. Quizás el más común sea la confusión de las hipótesis 1 y 2 de tal manera que creen que quieren decir lo mismo. Veamos, por ejemplo, a:

LAZ, 8; 10: *Voy a subir el cacharrito aquí arriba (encima de la caja de cartón) y voy a meter el embudo en C (ancho, grande y con mucha agua).* —¿Para qué? —*Para ver si es verdad que el nivel del tubito sube más alto.* —O sea, para ver si es verdad ¿qué frase?. —*Esta, la tercera (el agua del tubito sube más cuando el tubito está más alto).* —*Es verdad, (Ha metido el embudo en C).* —¿Y ahora qué vas a hacer? —*Bajar el cacharro y meter el embudo en este frasco (F) (alto, grande y con mucha agua).* —¿Por qué lo vas a meter en este (F)? —*Porque este (F) es el más alto.* —¿Pero ahí habla de que sea más alto el vaso? —(Habla de) *cuando hay más agua en el vaso (lleva el embudo a C).* —¿Y por qué lo vas a meter en éste? (C). —*Porque es el que tiene más agua (lo mete).* —*Sube más.* —¿Cómo lo sabes? —*Porque lo meto en éste (C) y el agua llega por aquí y lo meto en éste (B, estrecho, pequeño y con poca agua) y sólo llega por aquí.* —¿Entonces, la frase qué es? —*Verdad.* —Y ahora qué vas a hacer (coge la hipótesis 2). —*Voy a meterlo en éste (F) porque es el más alto.* —¿Por qué lo metes ahí ahora? —*Porque éste es más alto (F) y éste es más bajo (C).* —¿Entonces, qué pasa? —*Que el agua sube más cuando lo meto en este vaso (F).* —¿Entonces, la frase esta qué es? —*Cierta.* —¿Entonces, las tres son ciertas? —*Sí.*

Ya en el comienzo del protocolo se puede observar que este niño no llega realmente a someter a comprobación la hipótesis 3, ya que no compara la subida del nivel con el manómetro en ambas posiciones, a saber, abajo de la caja de cartón, y arriba. A continuación, al inten-

tar comprobar la hipótesis 1, referente a la cantidad de agua, parece identificar este aspecto con el tamaño o altura de los recipientes ya que escoge el vaso F por ser el más alto. Probablemente, esto se debe a que este niño todavía no ha adquirido la conservación del volumen y eso le impide darse cuenta de que «más alto» no implica necesariamente «más capacidad». Por último, logra distinguir entre estas dos hipótesis, pero no llega a eliminar la primera, sino que verifica las dos, aunque esto también es una característica de la subetapa siguiente.

Otra de las características de la subetapa 2A es que algunos de los sujetos llevan a cabo las mismas pruebas en la hipótesis 1 que en la hipótesis 2. Otro aspecto interesante se refiere a que algunos sujetos razonan en algunos momentos de la comprobación como si la hipótesis ya fuera verdadera.

En resumen, esta primera subetapa supone un avance en cuanto que los niños ya son capaces de emprender la tarea de comprobación de hipótesis, pero además de no alcanzar la falsación o eliminación de la hipótesis 1, tienen problemas incluso con algunas de las verificaciones, que realizan con dificultad o de un modo sólo parcialmente correcto, así como algunas veces con la eliminación de la hipótesis más fácil, la 3.

*Subetapa 2B:* En esta subetapa los sujetos, en su mayoría de 12 y 14 años, son capaces de llevar a cabo una tarea de comprobación, pero fundamentalmente mediante la estrategia verificadora. Logran, como muchos de la subetapa anterior, falsar la hipótesis 3, pero esto parece deberse a que esta hipótesis requiere, como se predijo, un procedimiento muy simple para falsarla.

Pero uno de los aspectos interesantes de esta segunda etapa es que los sujetos no sólo no utilizan una estrategia falsadora sino que, además, a menudo no tienen en cuenta situaciones o instancias falsadoras que ellos mismos producen en sus comprobaciones. Por tanto, parece claro que en la tarea de comprobación no basta con presenciar o percibir los hechos sino que es necesario interpretarlos según una estrategia o siguiendo una teoría.

Por ejemplo:

ALV, 10; 5<sup>o</sup> Antes de empezarlo a hacer dinos qué vas a hacer. *Ver si la primera es verdadera* («El agua del tubito sube más cuando hay más agua en el vaso»). —¿Cómo? —*Viendo si cuando hay más agua, el tubito sube más.* (Mete el embudo en A, estrecho y alto y en B, estrecho, bajo y con menos agua.) —¿Qué pasa? —*Suben igual.* —¿Seguro? —*No suben igual. Es verdad.* —por qué? —*Porque hay más agua en A, y en B, como hay menos, sube menos.* —¿Qué vas a hacer ahora? —*Comprobar la segunda* («El agua del tubito sube más cuando el nivel del agua del vaso es más alto»). (Mete el embudo en A, alto y estrecho y en C, ancho y alto y con más agua que A.) —*Es verdad.* —¿Por qué? —*Porque A es más alto.* —¿Y ahora qué vas a hacer? —*Comprobar la tercera* («El agua del tubito sube más cuando el tubito está más alto»). (Mete el embudo en G, pone el manómetro encima de la caja de cartón y vuelve a introducir el embudo en G.) —*Es también verdadera.* —¿Por qué? —*Porque cuando estaba abajo (sobre la mesa) ha subido lo mismo.* —¿Cuáles son verdad y cuáles no? —*La primera y la segunda son verdaderas, la tercera no.* —¿Seguro? —*Sí.* —¿Tienes que hacer algo más? —*No.*

hipótesis que él había considerado verdadera, en realidad es falsa. Si el recipiente A, que es más alto que el C, pero que tiene menos agua, produce, una vez introducido el embudo en él, una subida mayor del nivel del agua del tubito, entonces puede llegarse a la conclusión de que no es la cantidad de agua lo que produce la subida sino la altura de esa agua. Es decir, que la hipótesis 1 es falsa.

Otra de las características de los sujetos de la segunda etapa, que también puede observarse en ALV, es que no se extrañan de que un mismo fenómeno —en este caso la subida del agua— pueda estar producido simultáneamente por dos causas que son contradictorias entre sí. A este respecto, parece como si los niños, hasta la edad de las operaciones formales, consideraran que la veracidad o falsedad de cada una de las hipótesis que se refieren a un mismo fenómeno, fuera independiente de la relación que las hipótesis guardan entre sí.

Esto también se ha encontrado en otro de nuestros experimentos (Carretero, 1979 y 1984). Por ejemplo, algunos sujetos consideraban que existían varias razones por las que los cuerpos flotaban. Es decir, que un mismo fenómeno podía deberse a diferentes causas, contradictorias entre sí o mutuamente excluyentes.

Creo que esta incompreensión de la interdependencia de las hipótesis es importante, ya que probablemente impide entender un aspecto crucial de la eliminación de hipótesis. Me refiero a la necesidad de abandonar una explicación cuando surge otra más completa. Esto no se ha estudiado en este trabajo, pero parece plausible afirmar que los niños no eliminarán fácilmente una hipótesis que les parezca correcta, aunque sólo lo sea parcialmente y exista otra aún más correcta.

En definitiva, la etapa segunda, en su conjunto, es el período durante el que se consolidan las capacidades de comprobación y en el que se superan la indistinción entre la hipótesis 1 y la hipótesis 2, la afirmación de la veracidad de la hipótesis sin comprobación previa y la utilización de pruebas idénticas para distintas hipótesis, aspectos todos ellos ya comentados en la subetapa 2A, y que impedían que la comprobación fuera efectiva. Ahora bien, el tipo de comprobación que predomina en esta etapa es la verificación. Los sujetos consideran que la hipótesis 3 es falsa, por lo tanto, la eliminan, porque, aunque su estrategia es verificadora, los resultados son sólo negativos. Pero cuando a veces los sujetos se encuentran con instancias falsadoras e instancias verificadoras, en la comprobación de la hipótesis 1, hacen caso omiso de las instancias falsadoras y no la eliminan porque la consideran verdadera.

### **Tercera etapa: Eliminación mediante la falsación**

En esta etapa hemos situado a los sujetos que encuentran la solución correcta. Como puede verse en la Tabla 1, son pocos y, sobre todo, de 12, 14 y 16 años. Casi todos los sujetos han empleado el mismo método de resolución, que consiste en la aplicación del esquema que Inhelder y Piaget denominaron «permaneciendo igual todo lo demás». Es decir, se comprueba el efecto que produce una variable determinada, por ejemplo, la cantidad de agua, aislándola de las otras variables que la acompañan. De tal modo que se pueda conocer si el efecto que produce se debe a esa variable o a cualquier otra.

Por ejemplo:

GAN, 14; 8: Puedes empezar por la que quieras. —*Bueno, ésta no (hipótesis 3, «el agua del tubito sube más cuando el tubito está más alto») porque aunque estuviera un poco más alto va a subir igual que el otro. Sí, sube igual.* (Ha subido el manómetro encima de la caja y ha medido el embudo en el frasco C. Luego ha bajado el manómetro y ha medido otra vez el embudo en C.) —¿Entonces, qué pasa, ésa es falsa o cierta? —*Falsa.* (Examina la hipótesis 2, «el agua del tubito sube más cuando el nivel del agua del vaso es más alto».) Explicame primero qué vas a hacer. —*Tengo una teoría en la cabeza pero quiero asegurarme bien. Quiero meterlo en éste (B, estrecho, bajo y con poca agua) para saber hasta dónde llega y después lo meto en éste (F, alto, grande y con mucha agua).* —¿Pero por qué vas a comparar éste (B) con éste (F)? —*Porque éste (B) es más bajo que éste (F).* —Entonces, la frase, ¿es cierta o falsa? —*Cierta.* —¿Y la otra frase? (hipótesis 1, «el agua del tubito sube más cuando hay más agua en el vaso»). Dinos qué vas a hacer. —*Aquí en este (C) que tiene mucha agua, al meterlo queda bastante lleno y después, por ejemplo, éste (A, alto, estrecho con menos agua que C), que es bastante alto, pero sin embargo tiene poca agua. Yo creo que es falsa, pero no lo sé seguro. Este (A) tiene menos agua, sin embargo sube menos, en éste (C) que en éste (A).*

No deja de ser curioso que, incluso a los 16 años, más de la mitad de los sujetos no logren eliminar las hipótesis falsas 1 y 3. Esto indica que la tarea de eliminación de hipótesis, mediante la estrategia falsadora, no es fácil de adquirir y plantea problemas durante la adolescencia, y es de suponer que también en la vida adulta.

## DISCUSION

Parece que los resultados tienden a confirmar las hipótesis a, b y c planteadas con respecto a esta experiencia. El único aspecto que no se ha cumplido totalmente es la edad predicha para el dominio de la capacidad de eliminación de hipótesis. El que los sujetos de 14 y 16 años no manifiesten claramente esta capacidad, hace suponer que la falsación, como ya se encontró en otros trabajos, no es una estrategia frecuente ni fácil para los sujetos, incluso para los adultos. Por lo demás, ha quedado demostrado que los sujetos no adquieren plenamente la capacidad de comprobar hipótesis hasta los 12 años en adelante, al menos en este tipo de problemas. Antes de los 12 años algunos sujetos muestran esta capacidad, pero tienen dificultades que limitan la eficacia y exactitud de su comprobación.

Ahora bien, una vez adquirida la capacidad de comprobar hipótesis, cosa que demuestran con la verificación de la hipótesis 2 y la falsación de la hipótesis 3, ¿por qué los sujetos adolescentes no llevan a cabo la eliminación de la hipótesis 1? Por lo visto, hay varias causas que se lo impiden. Una de estas causas parece ser el que los sujetos no vean contradicción alguna en el hecho de que un fenómeno físico pueda deberse a dos causas contrapuestas o contradictorias entre sí, cosa que demuestran al no establecer ninguna relación entre la comprobación de las hipótesis 1 y 2.

Para los sujetos entrevistados, la veracidad de una de estas hipótesis no parecía implicar en absoluto la falsedad de la otra. Podría decir-

se que trataban las hipótesis como hechos aleatorios, en cuanto que el resultado de un hecho de este tipo es totalmente independiente del resultado del otro.

Otra de las dificultades que, a la vista de los resultados, parecen haber tenido los sujetos para eliminar la hipótesis 1, es que en la comprobación de esta hipótesis —al igual que en el experimento de Wason (1960, 1968) con un contenido arbitrario— los hechos falsadores sólo se perciben como tales si el sujeto está utilizando una estrategia falsadora, cosa que no ocurre en la hipótesis 3, en la que los hechos falsadores aparecen al utilizar una estrategia verificadora y el sujeto sólo tiene que sacar de ello una conclusión. Por el contrario, en la hipótesis 2, si se aplica una estrategia verificadora, no sólo no aparecen los hechos falsadores, sino que aparecen hechos aparentemente verificadores. Por último, creo que también ha supuesto una dificultad para los sujetos el que consideraran las comprobaciones con exclusiva referencia a la hipótesis que estaban comprobando en ese momento. De esta manera, con frecuencia en la comprobación de la hipótesis 2 los sujetos han realizado comprobaciones que implicaban la falsedad de la hipótesis 1, y no se han dado cuenta de ello en absoluto. Obviamente, esto está relacionado con lo dicho anteriormente acerca de la consideración de las hipótesis como completamente independientes unas de otras.

Resumiendo, la capacidad de eliminar hipótesis mediante la falsación aparece tardíamente (a los 14-16 años).

Además, su realización resulta difícil para los sujetos de tal manera que no se puede decir que la mayoría de los adolescentes logren eliminar una hipótesis entre un conjunto de ellas; al menos si presentan dificultades similares a las de las hipótesis utilizadas en este experimento. Por tanto, parece de utilidad la distinción entre verificación y falsación, introducida por Wason, para explicar el fracaso de los adolescentes y adultos en la resolución de problemas hipotético-deductivos, como es el caso de todos los problemas formales.

Por otro lado, ¿cuáles son las implicaciones de los resultados de esta investigación en el ámbito psicopedagógico y educativo en general? En primer lugar, quizás convenga matizar la que podría ser la conclusión más obvia y de carácter pesimista hacia la que supuestamente apuntarían los datos obtenidos. Es decir, podría pensarse que si hasta los 14-16 años no se comprende un aspecto básico de la metodología científica como es la eliminación de hipótesis alternativas, entonces resulta inútil e innecesaria la impartición de numerosos contenidos científicos que forman parte habitualmente de los programas de los últimos cursos de la E.G.B. y primero de B.U.P. Sin embargo, no creemos que tal conclusión sea adecuada porque supondría, como indicábamos al comienzo del artículo, una interpretación demasiado simplista de los datos psicológicos. Dicho de otra manera, que los alumnos muestren una serie de dificultades en una o varias tareas de comprobación de hipótesis, en un experimento psicológico no quiere decir necesariamente que dichos alumnos no puedan comprender adecuadamente esas tareas en un contexto de aprendizaje y/o de enseñanza en el cual se les proporcionen los recursos de instrucción adecuados. Por tanto, creemos que resulta más útil discutir las posibles implicaciones de este tipo de trabajos en el marco que acabamos de comentar.

En este sentido, si el profesor está utilizando una estrategia de lo que suele llamarse enseñanza por descubrimiento o de orientación cons-

tructivista, en la cual se supone que el alumno puede encontrar por sí mismo la solución a una serie de problemas conceptuales a partir de la realización de actividades, entonces convendría tener en cuenta que no parece que los hechos vayan a tener para el alumno un significado unívoco sino que van a llevar a una u otra conclusión según la estrategia de comprobación que esté siguiendo. Como hemos visto en este trabajo, una buena parte de los alumnos entrevistados no encuentran ningún problema en admitir que los mismos hechos sirven para validar dos hipótesis alternativas y, por tanto, contradictorias.

En consecuencia, lo dicho hasta ahora puede considerarse una razón más para criticar la enseñanza por descubrimiento en el sentido de que ésta debería incluir también una serie de indicaciones con respecto a las cuestiones metodológicas y, más concretamente, de comprobación de hipótesis. A la luz de las dificultades que tienen los alumnos resulta razonable pensar que tales indicaciones deberían ser proporcionadas por el profesor de manera explícita y, por tanto, más bien en la línea de una enseñanza expositiva. Ahora bien, tampoco puede olvidarse que, por su parte, este último tipo de enseñanza no ha sabido prestar atención a lo que suelen llamarse destrezas de pensamiento, las cuales se encuentran muy cercanas a lo tratado en esta investigación. En este sentido, los estudios actuales muestran que existen diferentes métodos instruccionales que resultan eficaces a la hora de optimizar las habilidades de razonamiento tanto de adolescentes como de adultos (Nickerson, Perkins y Smith, 1985). Sin embargo, desde un punto de vista educativo, creemos que no tiene demasiado sentido separar excesivamente los aspectos de la metodología científica de la enseñanza de los conceptos científicos. Como hemos señalado en el primer artículo de este dossier (Pozo y Carretero, en este volumen) y muestra con claridad la indagación reciente de las ideas espontáneas de los alumnos, la tendencia a la verificación y la dificultad para eliminar hipótesis no se producen sin más en la mente del alumno sino ligadas a una representación o comprensión defectuosa de las redes conceptuales. En la medida en que se modifiquen dichas representaciones —para lo cual habrá que recurrir, aunque no exclusivamente, a una estrategia expositiva— podrán modificarse también las estrategias de comprobación.

## Notas

<sup>1</sup> Este artículo está basado parcialmente en una publicación anterior en el *Anuario de Psicología* (número extraordinario de homenaje a Piaget), *A la ricerca de la genesis del metodo científico: un estudi sobre la capacitat d'eliminar hipótesis*, 1981, págs. 139-157.

<sup>2</sup> Una descripción y explicación de este aparato puede encontrarse, por ejemplo, en la página 144 del *Nuevo Manual de la UNESCO para la enseñanza de las ciencias*, 1975.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Quizás convenga advertir que la solución correcta del problema utilizado se enseña a los niños, al menos en la segunda etapa de E.G.B. Concretamente, en uno de los textos más usados de E.G.B., el *Libro de consulta del alumno. Ciencias de la Naturaleza*, 7.<sup>º</sup>, cuyo autor es A. Peiró y que está editado por Anaya, el capítulo 4 (págs. 29-36) está dedicado a la presión de los líquidos. No parece que pueda pensarse que este hecho va a influir decisivamente en el hallazgo de la solución correcta, ya que está bastante demostrado que gran parte de la enseñanza de la física no logra mejorar la comprensión infantil de esa disciplina al menos hasta que los sujetos no llegan a la edad en la que poseen capacidad suficiente para entender realmente los contenidos de esa enseñanza escolar.

<sup>4</sup> Esto es lo que Piaget e Inhelder denominan la operación negativa o la aplicación de la reversibilidad por negación, que los niños pueden aplicar en la etapa de las operaciones concretas (7-12 años).

3 Por el contrario, la falsación de la hipótesis 1 sólo se puede llevar a cabo aplicando dos tipos de pruebas que implican la utilización de la reversibilidad operatoria no sólo mediante la negación —comparación de vasos con más o menos agua— sino también de la reciprocidad —comparación de vasos con más y menos agua, pero controlando el efecto de su altura. De ahí que la falsación de la hipótesis 1 sólo pueda esperarse de los sujetos que se encuentran en la etapa de las operaciones formales, ya que la teoría piagetiana mantiene que es en esta etapa cuando se coordinan la negación y la reciprocidad como formas de reversibilidad operatorias. Hasta entonces, estas formas sólo se utilizan por separado.

## Resumen

Este trabajo consiste en la realización de un experimento con 48 sujetos de 8 a 16 años en el que tenían que resolver una tarea de carácter hipotético-deductivo. Esta tarea resulta difícil incluso para los adolescentes y se analizan las distintas estrategias utilizadas por los sujetos de diferentes edades. Se discuten los objetivos y resultados de este estudio con otros trabajos sobre el estudio de las operaciones formales y el pensamiento hipotético-deductivo. Por último, se tratan las implicaciones educativas de esta investigación.

## Summary

This work presents an experiment where 48 subjects, from 8 to 16 years old, have been interviewed. They had to resolve a hypothetical-deductive task. This task has been difficult for all subjects, even adolescents. Strategies used by subjects of different ages are analysed. Objectives and results are discussed in relation with other studies about hypothetical and formal thinking. Its implications from an educational point of view are considered.

## Résumé

Ce travail présente un experiment réalisé avec 48 sujets, de 8 à 16 ans, dans lequel ils devaient résoudre un problème de raisonnement hypothétique-deductif. Ce problème a présenté un haut niveau de difficulté même pour les adolescents. L'auteur analyse les diverses stratégies utilisées par les sujets de différents âges. On discute les objectifs et les résultats du travail en relation avec l'étude des opérations formelles et la pensée hypothétique-deductive. On discute aussi les implications éducatives de cette recherche.

## Referencias

- BRUNER, J. S.; GOODNOW, J. J., y AUSTIN, G. A.: *A study of thinking*. Nueva York: Wiley, 1966. Trad. cast.: *El proceso mental en el aprendizaje*.
- CARRETERO, M.: «¿Por qué flotan las cosas? El desarrollo del pensamiento hipotético-deductivo y la enseñanza de las ciencias». *Infancia y Aprendizaje*, 1979, 8, 7-22.
- «Tropezando muchas veces en la misma piedra». *Cuadernos de Pedagogía*, 1980, 67-68, 10-12.
- «De la larga distancia que separa la suposición de la certeza», en M. Carretero y J. A. García Madruga (Comp.). *Lecturas de psicología del pensamiento*. Madrid: Alianza, 1984, págs. 321-338.
- «El desarrollo cognitivo en la adolescencia y la juventud: las operaciones formales», en M. Carretero, J. Palacio y A. Marchesi (Comp.). *Psicología Evolutiva, Vol. 3, Adolescencia, madurez y senectud*. Madrid: Alianza, 1985, págs. 37-93.
- CARRETERO, M., y GARCÍA MADRUGA, J. A. (Comp.): *Lecturas de psicología del pensamiento*. Madrid: Alianza, 1984.
- DELVAL, J. A.: «Sobre la contratación de enunciados». *Revista de Psicología General y Aplicada*, 1975, 30, 263-286.
- «Sobre el fracaso en el problema de las cuatro tarjetas», en J. A. Delval (Comp.). *Investigaciones sobre lógica y psicología*. Madrid: Alianza Editorial, 1977.
- ELSTEIN, A. S.; SHULMAN, L. S., y SPRAFKA, S. A.: *Medical problem solving. An analysis of clinical reasoning*. Cambridge: Harvard University Press, 1978.

- GARCÍA MADRUGA, J. A., y CARRETERO, M.: «La inteligencia en la vida adulta», en M. Carretero, J. Palacios y A. Marchesi (Comp.). *Psicología Evolutiva, Vol. 3, Adolescencia, madurez y Senectud*. Madrid: Alianza, 1985.
- INHELDER, B., y PIAGET, J.: *De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent*. paris: P.U.F., 1955. Trad. cast. de M. T. Cevasco: *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Buenos Aires: Paidós, 1972.
- JOHNSON-LAIRD, P. N., y WASON, P. C.: *Thinking. Readings in cognitive science*. Londres, 1977.
- KUHN, D.; PENNINGTON, N., y LEADBEATER, B.: «Adult thinking in developmental perspective: the sample case of the juror reasoning», en P. Baltes y O. Brim (Eds.): *Life-span developmental psychology*. Vol. 5. Nueva York: Academic Press, 1983. Versión española en Carretero y García Madruga, 1984.
- NEIMARK, E.: «Intellectual development during adolescence», en F. D. Horowitz (Ed.). *Review of child development*, Vol. 4, Chicago: The University of Chicago Press, 1975.
- «Formal operations: current status». *Human Development*, 1980.
- NICKERSON, R. S., PERKINS, D. N., y SMITH, E. E.: *The teaching of thinking*. Hillsdale, N. J., LEA, 1985.
- NISBETT, R. E., y ROSS, L.: *Human inference: strategies and shortcomings of social judgment*. Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1980.
- POZO, J. I.: *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor, 1987.
- TWENEY, R. D.; DOHERTY, M. E., y MYNATT, C. R. (Eds.): *On scientific thinking*. Nueva York, Columbia University Press, 1981.
- WASON, P. C.: «On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task». *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1960, 11, 92-107.
- «On the failure to eliminate hypotheses... a second look», en P. C. Wason y P. N. Johnson-Laird (Eds.), 1968.
- «Regression in reasoning?». *British Journal of Psychology*, 1969, 60, 471-480.
- «The theory of formal operations a critique», en B. Geber (Ed.), *Piaget and Knowing*. Londres: Routledge, 1977.
- WASON, P. C., y JOHNSON-LAIRD, P. N. (Eds.): *Thinking and Reasoning*. Harmondsworth: Penguin, 1968.
- *Psychology of Reasoning, Structure and content*. Londres: Batsford, 1972. Trad. cast. de J. A. Delval: *Psicología del razonamiento*. Madrid: Debate, 1980.