



La consistencia de las teorías sobre la naturaleza de la materia: una comparación entre las teorías científicas y las teorías implícitas

Miguel Ángel Gómez Crespo & Juan Ignacio Pozo

To cite this article: Miguel Ángel Gómez Crespo & Juan Ignacio Pozo (2014) La consistencia de las teorías sobre la naturaleza de la materia: una comparación entre las teorías científicas y las teorías implícitas, *Infancia y Aprendizaje*, 24:4, 441-459, DOI: [10.1174/021037001317117286](https://doi.org/10.1174/021037001317117286)

To link to this article: <https://doi.org/10.1174/021037001317117286>



Published online: 23 Jan 2014.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 45



View related articles [↗](#)



Citing articles: 2 View citing articles [↗](#)

La consistencia de las teorías sobre la naturaleza de la materia: una comparación entre las teorías científicas y las teorías implícitas

MIGUEL ÁNGEL GÓMEZ CRESPO* Y JUAN IGNACIO POZO**

*I.E.S. Victoria Kent. Torrejón de Ardoz, Madrid; **Universidad Autónoma de Madrid



Resumen

Esta investigación analiza la consistencia de las teorías sobre la naturaleza de la materia mantenidas por adolescentes y adultos universitarios con diferente nivel de instrucción en química. Los sujetos resolvieron varias tareas escritas sobre conservación, movimiento intrínseco y discontinuidad de la materia. Se aplicaron tres criterios de análisis convergentes: análisis de clusters, índice de consistencia y análisis cualitativo de las teorías. Los resultados muestran que en las tareas de conservación de la materia las únicas teorías que proporcionan consistencia son las científicas. En cambio, en la comprensión del movimiento intrínseco y de la discontinuidad de la materia es mayor la consistencia de las teorías implícitas. Además las teorías científicas, cuando se usan consistentemente, proporcionan mayor consistencia que las teorías implícitas. Las teorías implícitas más consistentes, en nuestro caso la naturaleza continua y estática de la materia, estarían profundamente arraigadas en nuestro funcionamiento cognitivo, en forma de teorías implícitas. Cuanto más consistente es una teoría más resistente es al cambio conceptual en la instrucción. La persistencia de las teorías implícitas estaría relacionada directamente con su consistencia.

Palabras clave: Teorías implícitas, aprendizaje de la Química, consistencia, cambio conceptual, cambio representacional.

The consistency of theories on the nature of matter: A comparison between scientific theories and implicit theories

Abstract

This study analyses the consistency of the theories held by students on the nature of matter. Several paper and pencil tasks on conservation, intrinsic motion, and discontinuity of matter were applied to different groups of adolescents and adult novices and experts in Chemistry. The data were analysed through three convergent methods: cluster analysis, consistency index, and a qualitative analysis of the theories. The results show that in tasks on matter conservation only scientific theories provide consistency. However, implicit theories are more consistent than scientific theories in tasks on intrinsic motion and discontinuity of matter. Moreover, the consistency provided by scientific theories is stronger than that provided by implicit ones. The most consistent intuitive conceptions—those that conceive matter as continuous and static—are deeply rooted in our cognitive functioning in the form of “common sense” and/or implicit theories. They are opposed to the scientific models taught in the classrooms. The persistence of implicit theories is related to their consistency. The more consistent a theory, the more resistant it is to conceptual change.

Keywords: Implicit theories, Chemistry learning, consistency, conceptual change, representational change.

Agradecimientos: El presente trabajo es parte del Proyecto de Investigación PB98-095 concedido por la DGICYT bajo la dirección del segundo autor. En él presentamos además, algunos de los resultados del estudio sobre “Cambio conceptual en química” realizado por los autores gracias a una subvención del C.I.D.E. Los análisis estadísticos han contado con el asesoramiento de Antonio Pardo. Queremos agradecer también los comentarios y sugerencias de José María Oliva y María José Rodrigo a borradores previos de este trabajo, que nos han ayudado a mejorar no sólo la presentación que hacemos del trabajo sino también la propia comprensión del mismo.

Correspondencia con los autores: Juan Ignacio Pozo. Departamento de Psicología Básica, Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Madrid. Campus de Cantoblanco. 28049 Madrid. E-mail: nacho.pozo@uam.es

INTRODUCCIÓN: ¿SON CONSISTENTES LOS CONOCIMIENTOS COTIDIANOS?

La acumulación de estudios descriptivos sobre la ciencia intuitiva ha proporcionado detallados catálogos de ideas de los alumnos, pero también ha producido una cierta saturación de datos, que hace necesario un cambio en la orientación de esa investigación. Más allá de conocer las ideas o concepciones en un dominio dado necesitamos conocer cuál es la *naturaleza representacional* de esas ideas y cómo cambian. Dada la enorme diversidad terminológica y conceptual empleada, más allá de la vaga etiqueta del constructivismo, hay pocos puntos de acuerdo sobre la naturaleza representacional de esas concepciones (Pozo, 1993, 1999). Aunque cada catálogo de ideas se acompaña de una lista de las características que se les atribuyen, no existe tampoco un acuerdo sobre los rasgos que definen a la ciencia intuitiva.

Uno de esos desacuerdos es el grado de *consistencia* de esos conocimientos cotidianos. Inicialmente se asumió que las concepciones intuitivas, por contraposición al conocimiento científico, eran esencialmente incoherentes, ya que *“el mismo niño puede tener diferentes concepciones de un tipo de fenómeno particular, usando a veces diferentes argumentos que llevan a predicciones opuestas en situaciones que son equivalentes desde el punto de vista del científico”* (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985). Según esta idea, las concepciones de los alumnos son susceptibles de entrar fácilmente en contradicción y de algún modo esta idea subyace al enfoque del cambio conceptual por *conflicto cognitivo* que ha dominado durante bastantes años la investigación y la innovación educativa en este área (p.ej., Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982). Desde esta posición se está asumiendo que esas concepciones constituyen unidades de conocimiento más bien aisladas o escasamente conectadas entre sí (diSessa, 1993) y que en cambio las teorías científicas permiten integrar situaciones para las que el conocimiento intuitivo no es consistente, con lo que esas teorías científicas tendrían un exceso de contenido empírico (Lakatos, 1978) o una mayor coherencia explicativa que los conocimientos intuitivos (Thagard, 1992).

Pero esta supuesta inconsistencia de los conocimientos cotidianos, asumida implícitamente en muchos de los estudios sobre la ciencia intuitiva, contrasta con otro de los supuestos en que se basan esos estudios, la creencia en la estabilidad y generalidad de las concepciones encontradas. No obstante, cuando se introducen ciertas variables contextuales en la investigación, los datos tienden a mostrar que en un mismo alumno coexisten diversas representaciones alternativas que activa en contextos diferentes (Oliva, 1996; Pozo, Gómez Crespo y Sanz, 1999). Las concepciones de los alumnos parecen depender fuertemente del contexto. Aunque lo mismo podría decirse también del conocimiento científico, parece claro que las teorías científicas tienen un mayor propósito de universalidad (Pozo, Pérez Echeverría, Sanz y Limón, 1992), o de descontextualización, o si se prefiere una mayor coherencia explicativa (Thagard, 1992), de forma que con unas mismas leyes o principios dan cuenta de fenómenos que para el conocimiento intuitivo o cotidiano son diferentes (como p. ej., el movimiento de los astros y la caída de una pelota). En suma, un criterio de la superioridad epistemológica de una teoría sobre otra es su mayor grado de generalidad o transferencia a nuevas situaciones y tareas.

Las concepciones o teorías implícitas tienden a estar apegadas a los rasgos más superficiales, más directamente perceptibles de las situaciones en que se generan, se rigen por reglas asociativas simples y son generalmente implícitas y muy poco formalizadas (Pozo, 2001). Así, las teorías implícitas serían menos consistentes

que las teorías científicas, ya que están más ligadas al contexto, son más locales, constituyen un *conocimiento más situado*, aquí y ahora, de forma que su transferencia a nuevas situaciones y problemas resultaría más difícil (Pozo y Gómez Crespo, 1998).

¿Significa esto que las teorías implícitas son inconsistentes? Muchos autores no lo aceptan así, ya que consideran que proporcionan una visión coherente y sistemática del mundo, aunque su aplicación a otros escenarios distintos, propios de la ciencia, sea muy limitada. Dado el escaso grado de explicitación de muchos conocimientos cotidianos, que constituyen verdaderas teorías implícitas (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Pozo *et al.*, 1992; Rodrigo, 1993, 1997; Rodrigo y Correa, 1999), tienden a argumentarse de forma poco coherente y muchas veces no necesitan ser justificados ni explicitados. Pero tal vez la organización de esos conocimientos cotidianos, su cohesión representacional, sea de otra naturaleza, no necesariamente basada en la coherencia argumentativa que caracteriza al discurso científico (Duchsl, 1998; Thagard, 1992). Aunque los conocimientos cotidianos tengan poca coherencia argumental, pueden tener sin embargo una considerable *consistencia*. Una concepción será consistente cuando se active o use de modo similar en situaciones o contextos que comparten rasgos estructurales comunes. Tal vez el conocimiento cotidiano se base en criterios o rasgos estructurales diferentes de los científicos, por lo que tendría una consistencia alternativa a la del conocimiento científico, basada más en su naturaleza pragmática que en su poder explicativo (Pozo *et al.*, 1992), en su funcionalidad *pragmática* más que *epistémica* (Pozo, 2001).

Sin embargo, las escasas investigaciones realizadas sobre la consistencia (revisadas por Oliva, 1996) no han tenido en cuenta esta posible consistencia alternativa, ya que se han limitado a comprobar si los sujetos utilizan los modelos científicamente aceptados (basándose, por lo general, exclusivamente en las respuestas consideradas como correctas), sin rastrear otras formas alternativas de organizar las tareas que pudieran tener los sujetos. De hecho, uno de los problemas de la investigación de la consistencia de las representaciones es disponer de medidas claras de esa consistencia. Algunas investigaciones miden la consistencia entre sujetos y no dentro de cada sujeto, lo que limita seriamente sus conclusiones (de Posada y Prieto, 1989; Maloney, 1988). Incluso los estudios que enfrentan a un mismo sujeto con contextos diferentes suelen comprobar si los sujetos utilizan la misma teoría para interpretar fenómenos similares desde el punto de vista científico, pero así no pueden detectarse otras formas posibles de consistencia o de organización de las representaciones basadas en criterios *alternativos* distintos de los científicos. Un objetivo de nuestro trabajo será identificar metodologías que nos permitan desechar esas posibles agrupaciones alternativas de las tareas.

Hay una segunda limitación en las medidas de la consistencia. Los estudios realizados hasta la fecha se han limitado en su mayoría (p.ej., Engel Clough y Driver, 1986; véase la revisión de Oliva, 1996) a diferenciar entre sujetos que usan consistentemente una teoría ante un conjunto dado de tareas y sujetos que no la usan, tomando como criterio de consistencia el que el sujeto responda con el mismo criterio a un porcentaje previamente establecido de tareas (p.ej., el 70%). Así, se divide a los sujetos entre consistentes e inconsistentes, perdiéndose información sobre niveles intermedios de consistencia y no discriminando entre sujetos que aún no siendo plenamente consistentes mantienen pautas diferentes (p. ej., resulta más consistente el sujeto que alterna de modo sistemático entre dos teorías que el que usa tres o cuatro alternativas). Otro objetivo de este estudio será desarrollar medidas de la consistencia que permita discriminar entre esos niveles intermedios.

Además de estos problemas metodológicos, la consistencia de las teorías puede depender también del *contenido* de las mismas. Tal vez no todos los conocimientos cotidianos, o todas las teorías de dominio, tengan el mismo grado de consistencia. Así, los estudios sobre la naturaleza de la materia (Llorens, 1991; Gabel y Bunce, 1994; Gómez Crespo, 1996; Pozo, Gómez Crespo, Limón y Sanz, 1991; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Stavy, 1995), permiten diferenciar entre aquellos conceptos que constituyen el núcleo de los conocimientos cotidianos en química, con un origen más sensorial y una gran utilidad para organizar y predecir las relaciones con la materia en la vida cotidiana, y otras concepciones que, por su origen escolar, no alcanzan esa relevancia en la interacción con los objetos cotidianos. Concretamente, ese núcleo estaría constituido por una representación de la materia fuertemente *encarnada* o vinculada a la información que nuestras estructuras corporales nos permiten extraer del mundo (Pozo, 2001), una representación de la materia en términos macroscópicos, como algo continuo y estática a no ser que un agente externo actúe sobre ella. Frente a las ideas de vacío, movimiento intrínseco e interacciones entre partículas, podríamos esperar que los alumnos mantengan de modo consistente una teoría de la materia continua y estática (Pozo y Gómez Crespo, en prensa). En cambio para otras nociones (p. ej., las conservaciones de masa y sustancia), no parece haber representaciones alternativas consistentes ligadas a la forma en que nuestro cuerpo media en nuestras representaciones (Gómez Crespo, Pozo y Sanz, 1995; Pozo, 2001). Discriminar entre núcleos conceptuales con diferentes grados de consistencia, y por lo tanto con diferente grado de resistencia al cambio conceptual, puede ser muy útil para organizar los contenidos en el currículo de ciencias con la *meta* de promover el cambio conceptual, entendido no como un cambio de conceptos sino como la reestructuración teórica de un área de conocimiento basada en un cambio representacional (Pozo, 1999).

El objetivo principal de esta investigación es identificar los núcleos conceptuales más consistentes de las teorías implícitas de los alumnos en un área concreta, el conocimiento sobre la naturaleza de la materia, al tiempo que se compara la consistencia relativa de esas teorías implícitas con la proporcionada por el conocimiento científico en diversas tareas. Como acabamos de señalar, cabe esperar que los alumnos tengan alternativas consistentes al modelo corpuscular, basadas en la continuidad y el carácter estático de la materia, pero que sus ideas implícitas sobre la conservación de la materia sean menos consistentes. Además, cabe esperar que a medida que se produce la instrucción científica las teorías científicas incrementen su capacidad explicativa, y que los niveles de consistencia proporcionados por ellas, cuando son realmente aprendidas, sean superiores a los proporcionados por el conocimiento alternativo.

Otro de nuestros objetivos es desarrollar medidas de la consistencia que nos permitan superar las deficiencias de trabajos anteriores. Así, en vez de usar una medida única de la consistencia, realizaremos un análisis basado en tres medidas *convergentes*. Primero someteremos las concepciones a un análisis que nos permita, de modo cualitativo, identificar la forma en que se agrupan las respuestas. Para ello utilizaremos un análisis de *clusters*. A continuación realizaremos un análisis cuantitativo de la consistencia de las respuestas, basado en un *índice de consistencia* diseñado para esta investigación, que nos permitirá hacer un análisis estadístico de la influencia de diferentes variables sobre esa consistencia. Y, por último, una vez conocida la consistencia proporcionada por esas variables, realizaremos un *análisis cualitativo de las teorías* en que se basa dicha consistencia, diferenciando las teorías científicas de las teorías implícitas.

METODOLOGÍA

Sujetos

La investigación se realizó con 120 sujetos de distintas edades y diferentes niveles de instrucción en química, distribuidos en seis grupos de 20, si bien, como se indicará más adelante, no todos los grupos completaron todas las tareas debido a limitaciones en su diseño. Cuatro de los grupos estaban formados por adolescentes de distintas edades y diferente experiencia en química, pertenecientes a centros de la provincia de Madrid. El grupo de menor edad (12-13) estaba formado por estudiantes de secundaria de 12 a 13 años de edad. Un segundo grupo (14-15) estaba formado por estudiantes de secundaria de 14 a 15 años de edad. Otros dos grupos estaban formados por estudiantes de secundaria no obligatoria de 16 a 17 años de edad: uno de ellos con sujetos que no habían elegido estudios científicos (16-17 L) y otro con alumnos de la opción de ciencias, que estaban cursando la asignatura Física y Química (16-17 C)¹. Los otros dos grupos estaban formados por adultos universitarios estudiantes de 2º Ciclo de Psicología (Psic) y Ciencias Químicas (Quim) en Universidades de Madrid y servían como grupos que, teniendo un mismo nivel educativo, los considerábamos como novatos o expertos en química².

Tareas y procedimiento

Dentro de un conjunto más amplio de investigaciones sobre la comprensión de la química (Pozo, Gómez Crespo y Sanz, 1993 y Pozo y Gómez Crespo, 1997), aplicamos dos cuestionarios, uno relacionado con conservación de la materia y otro con la teoría corpuscular. Los ítems correspondientes a estos cuestionarios estaban insertos en un grupo más amplio de tareas, por lo que los sujetos en ningún caso los respondían de forma consecutiva. El orden de presentación de los ítems dentro de cada cuestionario fue aleatorio.

El cuestionario sobre conservación de la materia constaba de once ítems que planteaban situaciones cotidianas en las que tenía lugar un cambio aparente en la materia. Seis correspondían a cambios *químicos*, es decir situaciones en las que una sustancia interactuaba con otra, obteniéndose sustancias diferentes a las iniciales. Las otras cinco situaciones se correspondían con cambios *físicos*, disoluciones o cambios de estado, en los que no tenía lugar un cambio en la naturaleza de la materia, ya que las sustancias originales se conservaban. En cada ítem los sujetos debían elegir entre cinco opciones, que eran las mismas en todas las preguntas. Estas cinco opciones se corresponden con otras tantas “teorías” sobre los cambios en la naturaleza de la materia, que habían sido adaptadas por nosotros (Gómez Crespo *et al.*, 1995) a partir de los trabajos de Andersson (1986, 1990). Estas cinco alternativas (ver Tabla I) eran las siguientes:

- *Interacción (I)*: Las sustancias interactúan para formar una nueva (respuesta correcta para los ítems de cambio químico).
- *Desplazamiento (D)*: Las sustancias aparecen o desaparecen después del cambio.
- *Transmutación (T)*: Una sustancia se transforma en otra sin necesidad de interacción.
- *Modificación con Identidad (MI)*: La sustancia modifica su apariencia pero sigue siendo la misma (respuesta correcta para los ítems de cambio físico).

- *Modificación de la cantidad (MC)*: La sustancia sigue siendo la misma pero varía su cantidad.

TABLA I

Un ejemplo, aplicado a una reacción química en un contexto de la vida cotidiana, de como se utilizan las cinco categorías para analizar las ideas sobre conservación de la sustancia

Tenemos un clavo de hierro y lo dejamos al aire sin ningún tipo de protección. Al cabo de un cierto tiempo observamos que se ha oxidado, aparece cubierto con una capa rojo oscura con aspecto de polvo. *¿Qué crees que ha ocurrido con el hierro del clavo?*

- La sustancia sigue siendo hierro. El polvo rojo es algo que había dentro del clavo y que ha salido hacia afuera. (D)
- La sustancia sigue siendo hierro que ha cambiado de color. (MI)
- El hierro se ha transformado en una sustancia nueva y diferente de color rojo. (T)
- Ha habido una interacción entre el hierro y el aire para formar una sustancia diferente. (I)
- La sustancia sigue siendo hierro, pero ahora hay distinta cantidad. (MC)

Las tareas sobre la naturaleza corpuscular de la materia se ocupaban de dos conceptos: el vacío y el movimiento intrínseco de las partículas. Con respecto al vacío se planteaban cuatro items, tres de ellos referidos al agua en sus tres estados de agregación (vapor, agua y hielo) y uno referido a otro sólido “compacto”, el hierro. En cada uno el sujeto debía optar entre cuatro alternativas que intentaban representar cuatro teorías distintas sobre la composición de la materia:

- entre las partículas no hay *nada*, es decir, supuestamente un espacio vacío
- entre las partículas de esa sustancia hay *aire*
- *más de la misma materia* (más agua, hielo, vapor, etc.), es decir una concepción continua de la materia.
- entre las partículas hay un *gas* (excepto en el caso del hielo, en el que está alternativa correspondía a “agua”).

En el caso del movimiento intrínseco había cuatro items, que se referían a distintos fenómenos químicos en situaciones cotidianas, que implicaban distintos estados de agregación de la materia. Había cuatro opciones de respuesta, que eran similares en todos los items y se correspondían con cuatro teorías diferentes (ver Tabla II), correspondiendo la primera a la comprensión del movimiento intrínseco en el modelo corpuscular y las otras tres a concepciones alternativas.

TABLA II

Ejemplo de items sobre movimiento intrínseco de las partículas dentro del contexto de un cuestionario más amplio

Si pudiéramos ver las partículas de agua, ¿crees que estarían quietas o se moverían?

- Se mueven continuamente
- Están quietas y en posiciones fijas
- Sólo se mueven algunas, de vez en cuando, y por casualidad
- Sólo se mueven cuando agitamos el recipiente

Criterios de análisis

El objetivo de este trabajo era estudiar la consistencia de las respuestas de un mismo sujeto en cada uno de los cuatro contenidos analizados (conservación de la sustancia en cambios físicos y químicos, discontinuidad de la materia y movi-

miento intrínseco), es decir, comprobar si se agrupaban o no en una misma teoría o categoría, con independencia de su significado químico y su grado de corrección, que ya ha sido objeto de otros estudios (Pozo *et al.*, 1993; Pozo y Gómez Crespo, 1997). Además, en el caso de que las respuestas resultaran consistentes, queríamos realizar un análisis cualitativo que nos permitiera identificar la teoría en la que estaba basada esa consistencia. Pero dado que la aplicación de estos dos criterios de consistencia requería un agrupamiento previo de las tareas por parte del investigador, que en nuestro caso, como en el de otros estudios, estaba basado sobre todo en criterios científicos, antes era preciso desechar que los sujetos organizaran de modo consistente las tareas con algún otro criterio alternativo, no previsto por nosotros. Para ello procedimos a realizar en primer lugar un análisis de *clusters*, que nos permitiera comprobar la forma en que se agrupaban las respuestas de los sujetos. En resumen se han analizado las respuestas a los cuestionarios en torno a tres criterios: *agrupamiento de las respuestas*; *Consistencia de las ideas*; y *Teorías utilizadas*. A continuación se describen los criterios y los resultados obtenidos para cada uno de estos análisis.

AGRUPAMIENTO DE LAS RESPUESTAS: ANÁLISIS DE CLUSTERS

Procedimos a realizar un análisis de *clusters* con las respuestas de los sujetos para cada uno de los grupos, agrupándolas en dos núcleos conceptuales: conservación de la materia y naturaleza corpuscular. El análisis de *clusters* proporciona información cualitativa sobre la proximidad entre dos series de datos de frecuencias en un espacio imaginario. Así, nos permite conocer qué items se agrupan con cuáles para cada uno de los grupos y por tanto detectar posibles criterios de afinidad entre ellos, alternativos a los planteados por nosotros o, en su caso, confirmar estos últimos.

Resultados

Realizamos dos análisis de *clusters* para cada uno de los seis grupos, uno con las respuestas a los cuestionarios de conservación de la sustancia (cambio químico y cambio físico) y el otro con los items sobre la naturaleza corpuscular (vacío y movimiento intrínseco). Cada uno de esos doce análisis dio lugar a una representación bidimensional como las que se recogen a modo de ejemplo en las figuras 1 y 2.

En estas figuras se representan todos los items incluidos en el análisis, de forma que los que muestran pautas de respuesta más próximas entre sí se agru-

FIGURA 1
Cluster de las respuestas a los items de conservación de la sustancia por el grupo (12-13)

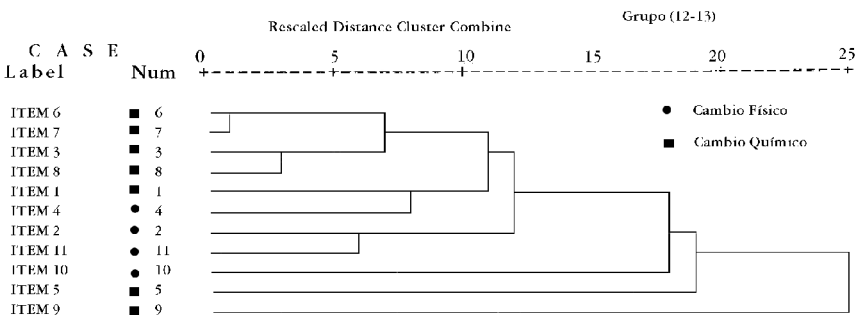
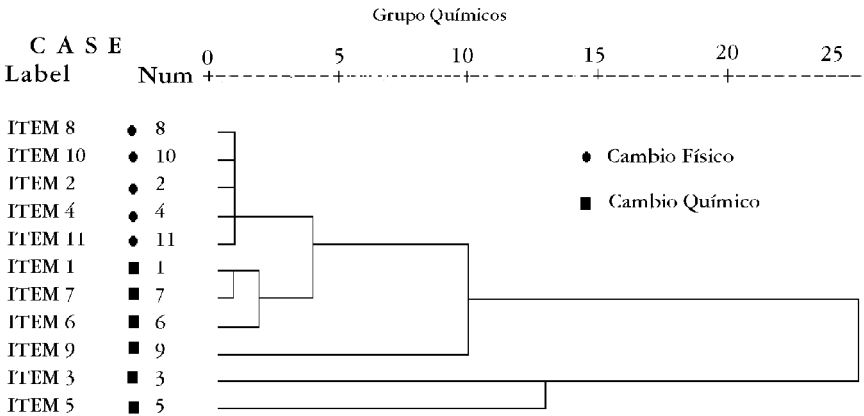


FIGURA 2
 Cluster de las respuestas de los sujetos expertos en química (Quim) a los items sobre conservación de la sustancia



pan juntos formando «conglomerados» o *clusters*. Cuanto menor es la proximidad entre dos items, o entre dos *clusters* de items, mayor es la distancia a la que esos grupos de items se unen en el eje horizontal. De esta forma, a modo de ejemplo, la comparación entre la figura 1 (respuestas en conservación de la sustancia del grupo de 12-13 años) y la figura 2 (respuestas en conservación de la sustancia del grupo de químicos) refleja la diferencia en la forma de agrupar las repuestas de uno y otro grupo.

Las respuestas de los químicos se hallan más agrupadas, dando indicios de mayor consistencia. De hecho, sus respuestas tienden a agruparse en dos grandes *clusters*, que incluyen respectivamente las tareas de cambio químico y cambio físico, indicando que este es el criterio que diferencia las respuestas en este grupo. En cambio, en los adolescentes de 12-13 años, la distancia entre los items es mayor, indicando una menor consistencia. Pero, con respecto a nuestros objetivos al aplicar este análisis, el dato más relevante es que no aparecen criterios alternativos a los previstos (cambio físico/cambio químico) en la formación de *clusters*, por lo que el análisis realizado nos permite desechar la posibilidad de que los sujetos organicen de modo consistente sus respuestas con criterios distintos a los previstos por nosotros.

Aunque el grado de consistencia, reflejado en la proximidad de los *clusters*, varía en función del núcleo conceptual y el grupo, la pauta observada en este ejemplo se repitió en todos los análisis, ya que no hemos observado ningún cluster que responda a criterios alternativos a los previstos por nosotros, es decir que no esté basado en el contenido de las tareas: cambio físico y cambio químico, en conservación de la sustancia, y vacío y movimiento intrínseco, en naturaleza de la materia. Por tanto podemos desechar que existan criterios de consistencia alternativos a los predichos y por tanto proceder a analizar el nivel de consistencia para cada contenido y grupo.

LA CONSISTENCIA DE LAS IDEAS DE LOS ALUMNOS: ANÁLISIS CUANTITATIVO MEDIANTE UN ÍNDICE DE CONSISTENCIA

Una vez descartado que las respuestas de los alumnos se agruparan con criterios distintos a los propuestos por nosotros en términos de contenido de

las tareas, procedimos a analizar la consistencia para cada sujeto en cada uno de los cuatro contenidos. Para ello diseñamos un índice de consistencia (IC) que nos permitiera realizar análisis cuantitativos. Este índice es una medida de la consistencia de las respuestas de un sujeto a un test con varios ítems y diferentes categorías de respuesta, similares en cada uno de los ítems. El índice de consistencia debe medir la agrupación de las respuestas en una o varias categorías, teniendo en cuenta no sólo la categoría mayoritaria sino también las categorías alternativas. Además, debe asignar a cada sujeto una puntuación que permita efectuar análisis con las puntuaciones de los sujetos y de los grupos con que se trabaje.

El índice de consistencia (IC) que hemos diseñado es una puntuación transformada (desde 0 a 1) de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las frecuencias de utilización de cada categoría de respuesta por cada sujeto.

$$IC = \frac{S - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}} \quad S = \sqrt{\sum f_i^2}$$

f_i = frecuencia correspondiente a la categoría i

S_{\min} = valor mínimo que puede llegar a tomar S

S_{\max} = valor máximo que puede alcanzar S

Las características de este índice de consistencia son:

a) S es una medida de la variabilidad del uso de las distintas categorías de respuesta por un mismo sujeto.

b) El uso de puntuaciones transformadas (entre 0 y 1) permite efectuar comparaciones entre la consistencia de las respuestas de cuestionarios con diferente número de ítems o, incluso, diferente número de categorías de respuesta en cada uno de los ítems.

c) El valor máximo (IC = 1) se obtiene cuando las respuestas a todos los ítems se concentran en una única categoría. El valor mínimo (IC = 0) se obtiene cuando las respuestas se dispersan entre todas las categorías posibles. Por ejemplo, en un cuestionario con 12 ítems y 4 categorías de respuesta, en cada uno, obtendríamos para tres posibles distribuciones de las respuestas los siguientes índices:

$$\begin{array}{lllll} f_1 = 12 & f_2 = 0 & f_3 = 0 & f_4 = 0 & IC = 1 \\ f_1 = 6 & f_2 = 6 & f_3 = 0 & f_4 = 0 & IC = 0,414 \\ f_1 = 3 & f_2 = 3 & f_3 = 3 & f_4 = 3 & IC = 0 \end{array}$$

d) Da más peso a la acumulación de respuestas en una única categoría y penaliza las respuestas aisladas.

e) A menor número de ítems se obtiene un valor menor para una misma proporción de respuestas. Por ejemplo:

Cuestionario de 12 ítems, con distribución 6 6 0 0 0 se obtendría IC = 0,461

Cuestionario de 6 ítems, con distribución 3 0 0 0 0 se obtendría IC = 0,446

Cuestionario de 4 ítems, con distribución 2 2 0 0 0 se obtendría IC = 0,414

f) A menor número de categorías de respuesta en cada ítem aumenta la probabilidad de que se den respuestas iguales. El Índice IC hace que en este caso disminuya la puntuación de consistencia.

g) Las puntuaciones obtenidas para cada sujeto pueden utilizarse en pruebas paramétricas.

Resultados

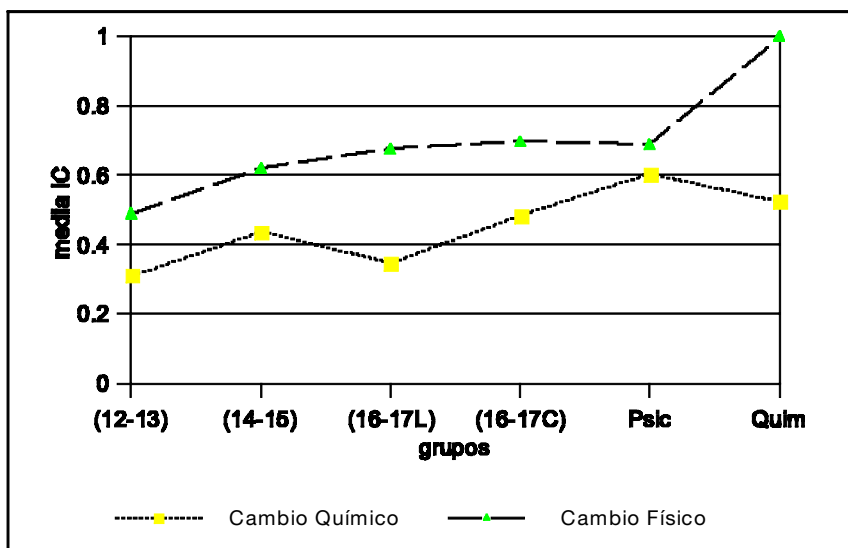
A partir de esas puntuaciones IC para cada sujeto, calculamos el IC medio de cada grupo e hicimos un análisis de diferencias de medias por grupo y contenido. Por razones de claridad expositiva, presentaremos en primer lugar de modo conjunto los datos de los dos primeros contenidos (cambio físico y cambio químico) relacionados ambos con la conservación de la sustancia y a continuación presentaremos los datos sobre movimiento intrínseco y discontinuidad de la materia.

Conservación de la sustancia (cambio físico y cambio químico)

La figura 3 presenta los índices medios de consistencia para cada grupo en los dos contenidos estudiados en conservación de la sustancia. La diferencia de medias resulta significativa [$F(5,114)=3,63; p=0,004$], si bien las principales diferencias se dan entre los grupos extremos. De hecho, podemos decir que a partir de los 14-15 años la consistencia de las teorías sobre la conservación de la sustancia en cambios físicos y químicos apenas aumenta, excepto para el grupo de expertos (Quim) en las tareas relacionadas con el cambio físico. Analizando las diferencias entre grupos, las únicas diferencias significativas que se observan son entre el grupo de Químicos y los adolescentes de 12-13 años en tareas de cambio físico ($p<0,05$) y entre Psicólogos y adolescentes de 12-13 años en cambio químico ($p<0,05$).

FIGURA 3

Puntuaciones obtenidas por cada grupo para el índice de consistencia (IC) en cada uno de los contenidos de conservación de la sustancia



Existen sin embargo diferencias significativas entre la consistencia de las respuestas ante ambos tipos de tareas. Con la excepción de los psicólogos, en todos los grupos las respuestas ante el cambio físico son más consistentes que ante el cambio químico ($p<0,05$). Es decir, a los estudiantes les resulta más sencillo establecer relaciones entre distintos fenómenos y utilizar un modelo interpretativo sobre la conservación de la materia cuando se trata de cambios físicos que cuando se trata de cambios químicos.

Movimiento intrínseco

TABLA III
Puntuaciones medias IC obtenidas en cada grupo para los ítems sobre movimiento

grupo	12-13	14-15	16-17 L	16-17 C	Psic	Quim
IC	0,341	0,293	0,631	0,509	0,784	0,899

La tabla III presenta las medias en IC para cada uno de los grupos en los cuatro ítems que se ocupaban del movimiento de las partículas. Las diferencias entre las medias resultan mayores que en el caso anterior y son claramente significativas [$F(5,114) = 18,5929; p = 0,0001$]. Además, se observa un aumento significativo de la consistencia de las teorías sobre movimiento intrínseco a medida que aumenta la edad y el nivel educativo de los sujetos. Los grupos de universitarios se muestran más consistentes en sus interpretaciones que todos los grupos de adolescentes, con la excepción de los de 16-17 años sin opción de ciencias ($p < 0,05$). A su vez, este grupo (16-17 L), es más consistente que los alumnos más pequeños (12-13 y 14-15). Sin embargo, aunque existen diferencias vinculadas a la edad y el nivel educativo, no se observan efectos específicos de la instrucción científica en la consistencia de las teorías sobre el movimiento de las partículas, ya que no existen diferencias apreciables ni entre químicos y psicólogos ni entre alumnos de 16-17 años con o sin opción de ciencias.

Discontinuidad de la materia

La tabla IV recoge los índices de consistencia media en las tareas de discontinuidad de la materia en los cuatro grupos de adolescentes³. Las medias obtenidas para todos los grupos de adolescentes son muy similares, no habiendo de hecho diferencias significativas entre ellas [$F(3,72) = 1,1779; p = 0,32$]. Ni la edad ni la instrucción modifican la consistencia de las ideas de los alumnos sobre la naturaleza corpuscular de la materia.

TABLA IV
Puntuaciones medias para el IC obtenidas por cada grupo en los ítems sobre discontinuidad de la materia

grupo	12-13	14-15	16-17 L	16-17 C
IC	0,491	0,355	0,503	0,505

TEORÍAS UTILIZADAS POR LOS ALUMNOS: ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA CONSISTENCIA DE LAS TEORÍAS

Una vez establecido el grado de consistencia de las respuestas de los sujetos para cada contenido, de acuerdo con nuestros objetivos, nos interesaba conocer en qué teoría o teorías se apoyaba esa consistencia y, más en concreto, comparar la consistencia proporcionada por las teorías científicas e implícitas para cada contenido y grupo. Así, tomando como criterio de consistencia el uso de una misma categoría de respuesta en al menos el 75% de los ítems correspondientes a cada contenido⁴, establecimos el porcentaje de

sujetos que se comportaban de modo consistente para cada uno de los cuatro contenidos. Una vez identificada, de modo cualitativo, la teoría en la que se basaba esa consistencia, diferenciamos entre teorías científicas y teorías implícitas, realizando una prueba Chi cuadrado para comparar la consistencia relativa que ofrecen para cada grupo y contenido.

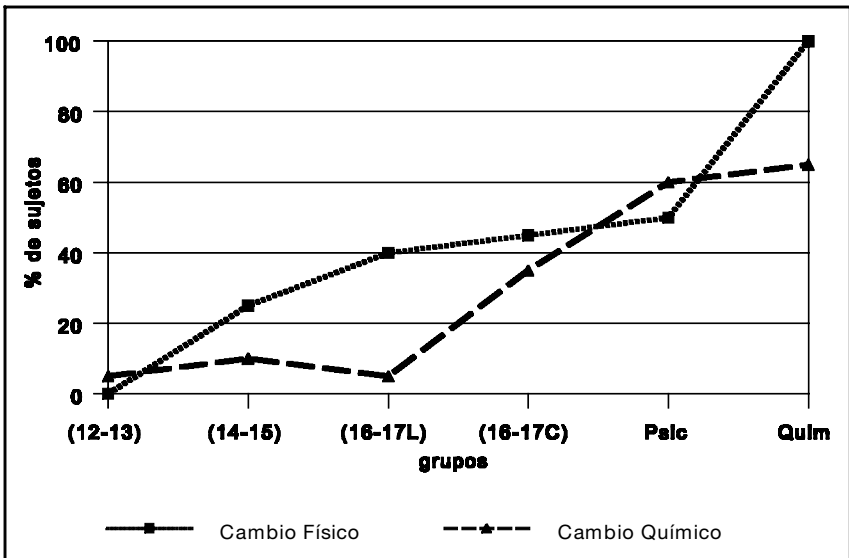
Resultados

Como en el análisis anterior presentamos en primer lugar los datos obtenidos para las dos tareas de conservación de la sustancia y a continuación analizaremos cualitativamente las teorías usadas de modo consistente por los alumnos con respecto a la naturaleza de la materia. Por último, compararemos la consistencia relativa ofrecida por las teorías científicas e implícitas en cada uno de estos dominios.

Teorías sobre la conservación de la sustancia (cambio físico y cambio químico)

La figura 4 muestra el porcentaje de sujetos de cada grupo que se comporta de modo consistente en tareas de cambio físico y cambio químico, una vez clasificados con el criterio de atribuir consistencia a aquellos sujetos que mantenían la misma teoría al menos en el 75% de los ítems. Casi el 90% de los sujetos que se comportaban de modo consistente en estas tareas, lo hacían recurriendo a una teoría científica, aunque en algunos casos la aplicaran erróneamente, no diferenciando entre cambio físico y cambio químico. En definitiva, al igual que vimos con el análisis de *clusters*, estos datos confirman que por lo general las teorías científicas resultan más consistentes que las teorías implícitas en el caso del estudio de la conservación de la materia.

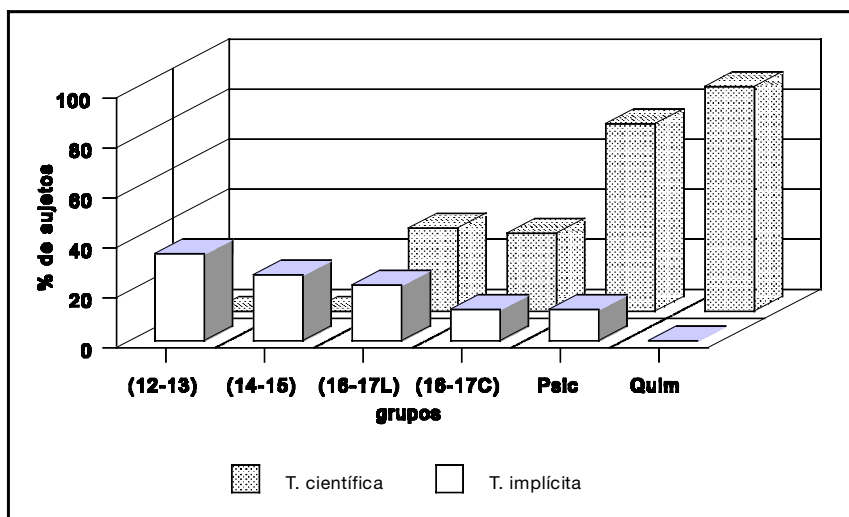
FIGURA 4
Porcentajes de sujetos consistentes (criterio 75%) en los dos contenidos sobre conservación de la sustancia (cambio físico y cambio químico)



Las teorías sobre el movimiento de las partículas

La figura 5 representa el porcentaje de sujetos de cada grupo que usaban consistentemente teorías científicas y teorías implícitas. Las diferencias entre esos porcentajes son significativas, según el análisis de Chi-cuadrado realizado ($\chi^2 = 36,22079$; g.l.=5; $p = 0,0001$). El porcentaje de sujetos que mantiene una teoría consistente es bastante pequeño en los grupos menores, donde dos tercios de los alumnos se comportan de modo inconsistente. La consistencia aumenta notablemente con la edad y la instrucción, siendo mucho más elevada entre los universitarios, donde alrededor del 90% de los sujetos mantienen teorías consistentes.

FIGURA 5
Porcentajes de sujetos de cada grupo que usaban consistentemente teorías científicas y teorías implícitas (movimiento intrínseco)



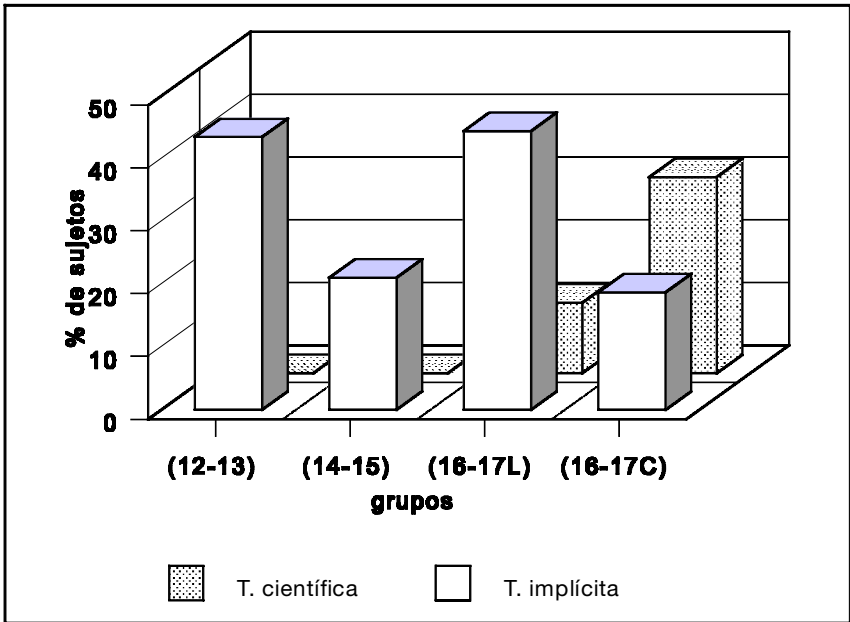
Esta mayor consistencia en los grupos de más nivel educativo está ligada a un cambio en el tipo de teorías utilizadas. Mientras entre los más pequeños (12-13 y 14-15 años) las únicas teorías mantenidas de modo consistente son las implícitas o intuitivas, a partir de los grupos de adolescentes mayores y sobre todo en los universitarios, especialmente en los químicos, la teoría utilizada consistentemente es la que postula el movimiento intrínseco de las partículas. De esta forma vemos que aumenta la fuerza de las teorías científicas, si bien, nuevamente, el efecto específico de la instrucción científica es pequeño (aunque hay alguna diferencia entre psicólogos y químicos, no hay diferencias entre adolescentes de 16-17 años en función de la opción elegida). Además, podemos comprobar cómo la teoría del movimiento intrínseco de las partículas proporciona una mayor consistencia que las teorías implícitas, que aunque estén presentes en los niños más pequeños, e incluso dominen sus interpretaciones, son menos consistentes que las científicas.

La consistencia de las teorías sobre la discontinuidad de la materia

La figura 6 refleja el porcentaje de alumnos consistentes con la teoría científica y la teoría alternativa en cada grupo de adolescentes. En este caso, las diferen-

FIGURA 6

Porcentajes de alumnos en cada grupo de adolescentes consistentes con la teoría científica y la teoría implícita (discontinuidad de la materia)



cias entre los distintos grupos (incluyendo sólo los adolescentes) no son significativas ($\chi^2 = 7,36529$; $gl=3$; $p= 0,07191$). De hecho, podemos ver cómo la consistencia no varía mucho de un grupo a otro, aunque esta afirmación general debe matizarse en función del tipo de teoría implicada.

Así, la consistencia de las teorías implícitas, aunque oscila de unos grupos a otros, no disminuye globalmente, como sucedía con el movimiento. Pero sí aumenta la consistencia de las teorías científicas, especialmente entre los adolescentes de 16-17 años del grupo de ciencias. En este grupo, el 50% de los sujetos mantiene una teoría consistente, ya sea científica/discontinua (31,25%) o alternativa/continua (18,75%). En cambio, entre los sujetos de la misma edad sin opción de ciencias, con un porcentaje comparable de sujetos consistentes (55%), la mayor parte de ellos siguen confiando, como hacen los adolescentes más pequeños, en sus teorías implícitas (44,44%) y sólo un pequeño grupo cree consistentemente en la idea de vacío (11,11%).

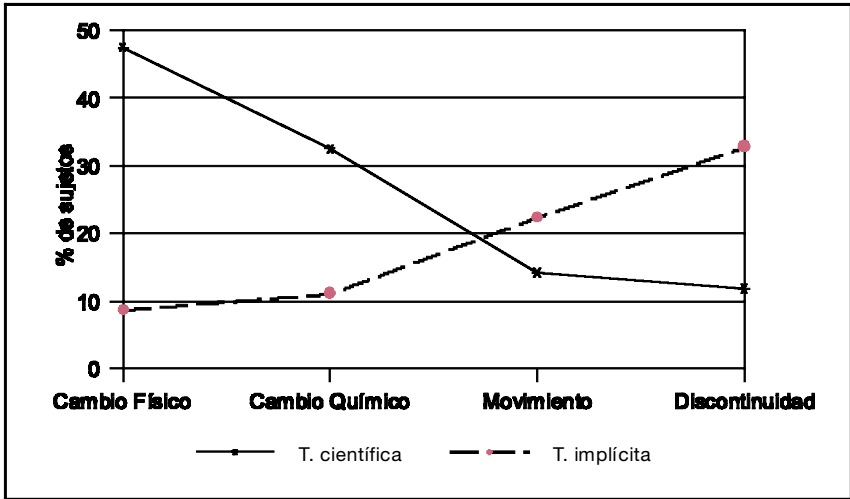
La consistencia relativa de las teorías en los diferentes contenidos

A partir de los análisis anteriores, tomando únicamente los sujetos adolescentes, podemos comparar la consistencia relativa de las teorías científicas y implícitas en los cuatro dominios estudiados. La figura 7 representa el porcentaje total de adolescentes, sin distinción de grupo, que recurren consistentemente a las teorías científicas o implícitas para cada contenido. Como puede verse, menos de la mitad de los adolescentes mantienen teorías consistentes (56% en cambio físico, 43,75% en cambio químico, 36,63% en movimiento y 44,73% en discontinuidad). Además, confirmando los análisis anteriores, la pauta de consistencia es muy diferente para las tareas de conservación de la sustancia (cambio físico y cambio químico) y para las tareas relativas a la naturaleza corpuscular de la mate-

ria (movimiento y discontinuidad). De hecho, las diferencias entre tareas son significativas ($\chi^2 = 42,53077$; $gl=3$; $p < 0,0001$). Mientras en conservación de la sustancia las teorías científicas se usan de modo más consistente que las implícitas, las ideas de vacío y movimiento intrínseco se utilizan de modo menos consistente que las representaciones macroscópicas, mostrando que en estos dominios, tan cercanos a nuestra percepción cotidiana del mundo y los objetos materiales que se mueven en él, existen fuertes teorías implícitas, opuestas al conocimiento científico que, por el contrario, no aparecen en tareas de conservaciones, al menos a las edades estudiadas por nosotros.

FIGURA 7

Porcentaje total de adolescentes, sin distinción de grupo, que recurren consistentemente a las teorías científicas o implícitas para cada contenido



La figura 7 muestra también que cuando las teorías científicas se usan consistentemente proporcionan una mayor consistencia que las teorías implícitas cuando son consistentes. Los índices de consistencia presentados anteriormente son ligeramente superiores en las tareas de conservaciones, en las que predominan las teorías científicas, que en las tareas que se ocupan de la naturaleza de la materia, para las que como vemos hay fuertes teorías implícitas. No obstante serían precisos nuevos análisis de diferencias entre esos IC relativos para confirmar esta tendencia.

CONCLUSIONES

En este estudio hemos utilizado diferentes medidas de la consistencia de las representaciones que se han mostrado muy eficaces. Frente a otros trabajos, que se limitaban a un análisis cualitativo del porcentaje de sujetos que actuaban de modo consistente, el uso de tres criterios de consistencia convergentes, uno descriptivo (análisis de *clusters*), otro cualitativo (análisis de teorías) y, sobre todo, un tercero cuantitativo (índice de consistencia, IC), ayuda a superar las limitaciones intrínsecas a cada uno de estos métodos de análisis. En especial, el IC se ha mostrado como un instrumento muy potente, ya que al proporcionar una puntuación continua de consistencia para cada sujeto, además de explorar todo el espacio de consistencia, permite manipulaciones estadísticas más potentes.

De los resultados obtenidos podemos extraer algunas conclusiones relevantes con respecto a la consistencia de las teorías de los alumnos y, de modo más general, sobre los procesos de cambio conceptual. En primer lugar, la consistencia de las teorías implícitas varía en función de su contenido. Cuando las teorías tienen su origen en la percepción de los objetos en contextos cotidianos, los alumnos disponen de teorías implícitas muy consistentes de carácter macroscópico, según las cuales, como acreditan nuestros sentidos, la materia es continua y estática a no ser que un agente externo actúe sobre ella (Gómez Crespo, 1996; Pozo y Gómez Crespo, en prensa). En cambio, en otras áreas o núcleos conceptuales de la química, como la conservación de la materia, que no tienen una relación directa con nuestra percepción del mundo, no hemos encontrado teorías implícitas consistentes. Este diferente grado de consistencia entre las teorías implícitas en diferentes áreas puede interpretarse como un efecto de la naturaleza encarnada de nuestras representaciones implícitas, fuertemente dependientes de la forma en que nuestro cuerpo nos informa del mundo en el que vive (Pozo, 2001).

La consistencia está además estrechamente relacionadas con la resistencia de esas teorías al cambio. Las teorías implícitas que hemos identificado como más consistentes (sobre movimiento y discontinuidad de la materia) son también las más persistentes y más difíciles de modificar con la instrucción (Gómez Crespo y Pozo, en prensa; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Stavy, 1995). De esta forma, el análisis de la consistencia puede ser muy útil para detectar los principales núcleos que requieren un cambio conceptual profundo (Pozo, 1994; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Vosniadou, 1994) y diferenciarlos de otros conceptos, en los que las dificultades proceden más de una escasa diferenciación entre distintas nociones científicas, como por ejemplo cambio físico y cambio químico.

Además, nuestros datos muestran también que cuando se mantienen de modo consistente las teorías científicas proporcionan niveles de consistencia mayores que esas teorías implícitas. Así, se confirmaría nuestra hipótesis de que el cambio conceptual implica un incremento de la consistencia, vinculada posiblemente a los niveles de explicitación de las representaciones (Pozo, 2001; Pozo y Gómez Crespo, 1998). En la medida en que los conocimientos cotidianos se organizan en forma de teorías implícitas, su eficacia representacional no requiere una coherencia argumental, sino que aquellas teorías que se apliquen de modo consistente a un mayor número de contextos, que tengan una mayor capacidad de transferencia en esos contextos, serán más eficaces. En cambio, el aprendizaje de las teorías científicas requiere una explicitación, basada en lenguajes más formales y abstractos, que no sólo incrementa la coherencia argumental (véase Correa y Rodrigo, y Mortimer, en este número), sino que, como hemos visto, supone también un aumento de su consistencia o capacidad de transferencia a otros contextos y tareas (Pozo y Gómez Crespo, 1998).

Esta mayor consistencia producida por el aprendizaje de las teorías científicas frente a las implícitas debe constituir, por tanto, un objetivo de la instrucción científica. Sin embargo, según nuestros resultados, se trata de un objetivo alcanzado en escaso grado. La influencia de la instrucción científica sobre la consistencia de las teorías de los alumnos es bastante escasa, debido a que esa instrucción produce una asimilación muy escasa de las teorías científicas. Confirmando los datos obtenidos en otros estudios (Gómez Crespo *et al.*, 1995; Pozo y Gómez Crespo, 1997), en general, los alumnos adolescentes con estudios específicos de física y química no muestran una comprensión cualitativamente mejor de la naturaleza de la materia que los que no realizan esos estudios. Será necesario, por tanto, realizar nuevas investigaciones que analicen con detalle la influencia de la instrucción. Asimismo, será necesario también analizar el efecto sobre la consis-

tencia de otras variables de contenido, como son los estados de agregación de la materia, que determinan en buena medida la apariencia que adopta ante nosotros. De hecho, la escasa consistencia encontrada entre los adolescentes en el caso de las tareas de movimiento y discontinuidad podría deberse a que mezclaban situaciones con líquidos, sólidos y gases, cuando la investigación sobre la comprensión de la teoría corpuscular ha revelado que los alumnos interpretan de modo diferente esos estados de agregación, o de apariencia, de la materia (Gómez Crespo, 1996; Pozo y Gómez Crespo, 1997; Stavy, 1995). Será necesario analizar la consistencia con la que los alumnos interpretan la discontinuidad y el movimiento de las partículas para cada uno de esos estados, porque puede ayudarnos a entender mejor la naturaleza del cambio conceptual no sólo en Química, sino como proceso general de construcción del conocimiento científico.

Notas

¹ En el momento en que se aplicaron las pruebas, el grupo 12-13 se correspondía con alumnos de 7º de EGB, el grupo 14-15 con alumnos de 1º de BUP y los dos grupos 16-17 con alumnos de 3º de BUP.

² Hemos considerado como grupo de expertos a los estudiantes de último año de Ciencias Químicas que, aunque no puedan considerarse verdaderos expertos en química, tienen la experiencia suficiente como para poder resolver sin ninguna dificultad las tareas que se presentaron en la experiencia.

³ Por limitaciones en el contenido de las tareas, los cuestionarios sólo se aplicaron a los cuatro grupos de adolescentes.

⁴ Excepto en el caso del contenido cambio físico, en el que al haber sólo cinco ítems, exigimos como criterio de consistencia la misma respuesta en cuatro de los ítems, es decir en el 80%.

Referencias

- ANDERSSON, B. (1986). Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education*, 70 (5), 549-563.
- ANDERSSON, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- DE POSADA, J. M. y PRIETO, T. (1989). Ideas y representaciones de los alumnos sobre radioactividad. *Revista de Educación*, 289, 357-375.
- DISSA, A. (1993). Towards an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10 (2-3), 105-225.
- DRIVER, R., GUESNE, E. & TIBERGHIEN, A. (Eds.) (1985). *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press. (Trad. cast. de P. Manzano: *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata, 1990).
- DUCHSL, R. A. (1998) La valoración de argumentaciones y explicaciones: promover estrategias de retroalimentación. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (1), 3-20.
- ENGEL CLOUGH, E. & DRIVER, R. (1986). A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70 (4), 473-496.
- GABEL, D. y BUNCE, D. (1994). Research on problem solving: Chemistry. En D. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 301-326). New York: Macmillan.
- GÓMEZ CRESPO, M. A. (1996). Ideas y dificultades en el aprendizaje de la química. *Alambique*, 7, 37-44.
- GÓMEZ CRESPO, M. A. y POZO, J. I. (2000). La comprensión de la estructura de la materia: discontinuidad y vacío. *Tarbiya*, 26, 117-139.
- GÓMEZ CRESPO, M. A., POZO, J. I. & SANZ, A. (1995). Students' ideas on conservation of matter: effects of expertise and context variables. *Science Education*, 79 (1), 77-93.
- LAKATOS, I. (1978). *The methodology of scientific research programmes-philosophical papers* Vol. I. Ed. de J. Worall y G. Currie: Cambridge University Press. (Trad. cast. de J. C. Zapatero: *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza, 1983).
- LLORENS, J. A. (1991). *Comenzando a aprender química. De las ideas alternativas a las actividades de aprendizaje*. Madrid: Visor.
- MALONEY, D. P. (1988). Novice rules for projective motion. *Science Education*, 72 (4), 501-513.
- OLIVA, J. M. (1996). Estudios sobre consistencia en las ideas de los alumnos en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (1), 87-92.
- POSNER, F. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W. & GERTZOG, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66 (2), 211-227.
- POZO, J. I. (1993). Psicología y didáctica de las ciencias de la naturaleza, ¿concepciones alternativas? *Infancia y aprendizaje*, 62-63, 187-204.

- POZO, J. I. (1994). El cambio conceptual en el conocimiento físico y social: del desarrollo a la instrucción. En M. J. Rodrigo (Ed.), *Contexto y Desarrollo Social* (pp. 419-449). Madrid: Síntesis.
- POZO, J. I. (1999). Sobre las relaciones entre el conocimiento cotidiano de los alumnos y el conocimiento científico: del cambio conceptual a la integración jerárquica. *Enseñanza de las Ciencias, n.º extra*, 15-29
- POZO, J. I. (2001). *Humana mente: el mundo, la conciencia y la carne*. Madrid: Morata.
- POZO, J. I. y GÓMEZ CRESPO, M. A. (1997). *Cambio conceptual en Química*. Memoria de investigación no publicada. Facultad de Psicología de la Universidad Autónoma de Madrid.
- POZO, J. I. y GÓMEZ CRESPO, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- POZO, J. I. y GÓMEZ CRESPO, M. A. (En prensa). Más allá del "equipamiento cognitivo de serie": la comprensión de la naturaleza de la materia. En M. Benlloch (Ed.), *La educación científica: más allá de la escuela*. Barcelona: Paidós.
- POZO, J. I., GÓMEZ CRESPO, M. A., LIMÓN, M. y SANZ, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: ideas de los alumnos sobre la química*. Madrid: Servicio de Publicaciones del M.E.C.
- POZO, J. I., GÓMEZ CRESPO, M. A. y SANZ, A. (1993). *La comprensión de la química en la adolescencia*. Memoria de Investigación no publicada. Facultad de Psicología de la Universidad Autónoma de Madrid.
- POZO, J. I., GÓMEZ CRESPO, M. A. & SANZ, A. (1999). When conceptual change does not mean replacement: different representations for different contexts. En W. Schnotz, S. Vosniadou y M. Carretero (Eds.), *New trends on conceptual change* (pp.161-174). London: Elsevier.
- POZO, J. I., PÉREZ ECHEVERRÍA, M. P., SANZ, A. y LIMÓN, M. (1992). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas. *Infancia y Aprendizaje*, 57, (3-22).
- RODRIGO, M. J. (1993). Representaciones y procesos en las teorías implícitas. En M. J. Rodrigo, A. Rodríguez y J. Marrero (Eds.), *Las teorías implícitas una aproximación al conocimiento cotidiano* (pp. 95-122). Madrid: Visor.
- RODRIGO, M. J. (1997). Del escenario sociocultural al constructivismo episódico: un viaje al conocimiento escolar de la mano de las teorías implícitas. En M. J. Rodrigo y J. Arny (Eds.), *La construcción del conocimiento escolar* (pp. 177-191). Barcelona: Paidós
- RODRIGO, M. J. y CORREA, N (1999). Teorías implícitas, modelos mentales y cambio educativo. En J. I. Pozo y C. Monereo (Eds.), *El aprendizaje estratégico* (pp. 75-85). Madrid: Santillana
- STAVY, R. (1995). Conceptual development of basic ideas in Chemistry. En S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning science in schools* (pp. 131-154). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- THAGARD, P. R. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- VOSNIADOU, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4 (1), 45-69.

Extended Summary

Some models of conceptual change assume that students' ideas on science are organised as personal or implicit theories with a strong internal consistency. However, other authors support that students' ideas are mostly isolated units of knowledge; their consistency increasing as scientific theories are assimilated. Although most studies do not make explicit their assumptions about the nature of students' representations, they appear to presume that these representations are stable and relatively consistent within the same subject. On the other hand, theories of conceptual change based on historical and epistemological analyses consider conceptual coherence to be a relevant criteria to differentiate more powerful theories.

In this paper, our aim was to study the consistency of conceptions about the nature of matter held by subjects with different levels of instruction when they are asked to solve various tasks dealing with the concept of similar or different from a scientific point of view. Subjects were shown several items on the nature of matter; specifically on: matter conservation, the intrinsic motion of particles, and matter discontinuity. The sample included 120 Spanish subjects divided into six groups, each with 20 subjects, differing in age and level of Chemistry instruction. There were four groups of adolescent students from: 1) seventh grade (12-13 years old group); 2) ninth grade (14-15 years old group); 3) eleventh grade with science studies (16-17 years old science group); and 4) eleventh grade without science studies (16-17 years old non-science group). There were also two groups of university students with a similar mean age but different levels of knowledge in Chemistry: final year Chemistry students (Chemistry group), and Psychology students (Psychology group).

In order to assess the consistency of each subject, we designed a consistency index that computes the use of each answer category across the different tasks. It takes into account both the frequency which each answer category was used and the variance or distribution of answers across different categories. This allowed us to assign a consistency score to each subject for each task grouping (e.g., all tasks involving chemical reactions). Analysis of variance with different independent variables were then calculated for these scores. The consistency index only works with predefined groupings of items. In our research study, these were based on the scientific content of the task (e.g., items on chemical reactions or on intrinsic motion). In addition, cluster analyses were also carried out in order to uncover alternative groupings of items not predicted in our theoretical framework. Finally, we were also interested in analysing whether subjects were using scientific or implicit theory consistently in their performance. For this purpose, the answers were also submitted to a qualitative analysis.

The results show that most adolescents do not have a consistent theory, either scientific or implicit, about the nature of matter. However, in matter conservation adolescents are more likely to use consistently scientific interpretations rather than other alternatives. Implicit theories are used more consistently than scientific theories to solve intrinsic motion and matter discontinuity tasks. Moreover, we found that the consistency provided by scientific theories is stronger than that provided by alternative interpretations. The persistent use of implicit theories is therefore related to their consistency. The more consistent a theory, the more resistant it is to conceptual change and the influence of science instruction is less.

In summary, through consistency analyses in different scientific domains, we may identify the most relevant implicit theories held by students. That is, those «common sense» implicit theories that are deeply rooted in our cognitive functioning and are opposed to the scientific models taught in the classrooms. In this way, we may help to differentiate them from less stable conceptions that do not require a radical conceptual change to be modified.