

UNA INTERPRETACIÓN DEL DESARROLLO COGNOSCITIVO DE LOS ALUMNOS EN EL ÁREA DE LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA

BENARROCH BENARROCH, ALICIA
EU de Formación del Profesorado de Melilla
Ctra. Alfonso XIII, s/n. 52005 Melilla
E-mail: aliciabb@goliat.ugr.es

SUMMARY

This paper describes a theoretical framework in order to interpret the evolution of the pupil's knowledge of the corpuscular nature of matter. This theoretical framework is grounded on the cognitive model of the pupil, which considers general operating and specific schemata as transformer agents of the input data. Working with our own empiric data, as well as with those obtained by other researchers, it might be concluded that this theoretical framework allows not only a plausible interpretation of doubts and empirical contradictions coming out from the bibliography, but also the description of the changing/developing conceptual process in terms of its main responsible agents, whether general or specific, which reports a beneficial information that could become a useful guidance in future educative interventions.

INTRODUCCIÓN. DE LA DESCRIPCIÓN A LA INTERPRETACIÓN DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS

Desde los trabajos pioneros sobre concepciones de los alumnos hasta los más recientes, algo parece haber cambiado en esta línea de investigación que dura ya aproximadamente unos treinta años. Numerosas voces se han levantado en este intervalo para reclamar una interpretación de las «regularidades de respuestas alternativas» diagnosticadas en las actuaciones de los estudiantes (Chi et al., 1994; Vosniadou, 1994; Pozo, 1996). Si una descripción de las mismas, aderezada a lo sumo con porcentajes para los distintos cursos escolares y para las diferentes situaciones problemáticas, era suficiente en los primeros trabajos de cada uno de los dominios específicos para extraer implicaciones didácticas, cada vez más se reclama un marco interpretativo de esas concepciones estudiantiles. Este marco interpretativo

debería ser capaz de responder a multitud de preguntas direccionadas a hacer operativo el conocimiento de las mismas en el ámbito didáctico. Algunas de estas preguntas podrían ser:

- a) ¿De dónde proceden estas regularidades de respuestas?
- b) ¿Por qué unas ideas son menos persistentes o resistentes al cambio que otras?
- c) ¿Sobre qué factores –las mismas ideas, los principios epistemológicos u ontológicos ocultos, los procesos de tipos generales implicados, etc.– hay que incidir en un proceso de enseñanza para favorecer el cambio conceptual de las concepciones de los alumnos?

d) ¿Cuándo es el momento didáctico más favorable para este cambio conceptual? ¿Por qué?

Quizás en la década de los ochenta, la tendencia investigadora hubiera sido ofrecer respuestas a algunas de las preguntas anteriores ligando, con cierta ligereza o ingenuidad, las regularidades encontradas en las respuestas de los alumnos con las implicaciones para desarrollar una enseñanza supuestamente capaz de superar las deficiencias cognitivas encontradas. En su lugar, en los últimos años, se reconoce que hoy en día no es posible contestar a estas preguntas de forma certera (Vosniadou e Ioannides, 1998). El vínculo entre las regularidades de respuestas y las implicaciones didácticas requiere, para su logro, de modelos representacionales de la cognición del sujeto y de su aprendizaje, entendido este último como el cambio en las estructuras conceptuales. Esto conlleva la consideración de que las concepciones alternativas no son algo accidental o coyuntural sino que, al menos a cierto nivel, tienen una naturaleza estructural y sistemática. Esto es, son el resultado de una mente o un sistema cognitivo formado por unas pocas estructuras conceptuales pseudoteóricas conceptualizadas como el producto del incremento de conocimiento del niño.

En un trabajo anterior (Benarroch, en prensa) se han expuesto los niveles explicativos encontrados en las respuestas de los alumnos sobre la naturaleza corpuscular de la materia. En este artículo se describe un marco teórico para interpretar estos resultados y los mecanismos de cambio de un nivel a otro. El marco teórico utilizado permite asimismo explicar las dudas, lagunas e incluso contradicciones localizadas en la bibliografía sobre el conocimiento del alumno acerca de la naturaleza corpuscular de la materia. Se sugiere, en definitiva, la eficacia del mismo por su operatividad y utilidad para extraer implicaciones didácticas fundamentadas.

ALGUNAS PREGUNTAS BÁSICAS SIN RESPONDER DEL CONOCIMIENTO DEL ALUMNO SOBRE LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA

En el área de la naturaleza corpuscular de la materia, muchos son aún los interrogantes que surgen a la hora de extraer conclusiones didácticas desde las aportaciones empíricas sobre el conocimiento del alumno en esta área. Así, se ha comprobado que un análisis minucioso de la abundante bibliografía sobre concepciones de la naturaleza corpuscular de la materia, arroja resultados más contradictorios que sugerentes. Relacionaremos a continuación algunas de esas contradicciones y cuestiones sin responder. El objetivo de destacarlas no es otro que darles posteriormente una explicación desde el marco teórico que será expuesto a continuación. Una síntesis de las aportaciones poco concluyentes de los trabajos sobre concepciones son:

a) Se sabe que los alumnos muestran desde los diez años en adelante bastante familiaridad con ideas corpusculares. Sin embargo, *existen notables discrepancias entre*

los diversos autores para fijar la frecuencia de los sujetos que utilizan de forma espontánea el modelo corpuscular. Así, Gómez Crespo (1996) señala, en aparente contradicción con la primera afirmación de este párrafo, que «el modelo corpuscular se utiliza muy poco de forma espontánea» (p. 40). Como dicen Pozo y otros (1991): [...]«hay estudios que ofrecen datos tanto a favor como en contra.» (p.125). En efecto, algunos estudios obtienen porcentajes bastante elevados (50% como mínimo) de alumnos que usan de modo espontáneo el modelo de partículas. Otros estudios obtienen porcentajes muy bajos (20% o menos). Entre los primeros, cabe citar los ya clásicos trabajos de Novick y Nussbaum (1978, 1981) y de Brook y otros (1984) y los resultados obtenidos en nuestro contexto (Benarroch, 1989). No obstante, Stavy y Stachel (1985), Stavy (1988) y Llorens (1988) encuentran porcentajes de alumnos que utilizan los modelos de partículas bastante más bajos. Parece que las distintas tareas utilizadas en cuanto a instrucciones, fenómeno involucrado, variables perceptivas, técnica de recogida de datos, etc., e incluso la «concepción del investigador sobre cuándo considera que el alumno posee una concepción corpuscular» son algunas de las causas de estos resultados aparentemente contradictorios.

b) Se suele admitir que las mayores dificultades del modelo corpuscular se centran en los conceptos de *vacío* y *de movimiento* (Novick y Nussbaum, 1981; Meheut y Chomat, 1990). Sin embargo, se desconoce qué posturas o visiones corpusculares adoptan los alumnos que niegan el vacío: ¿niegan también la existencia de huecos o sólo la inexistencia de materia? Creemos que no se ha hecho suficiente diferenciación entre «negar el vacío» y «ser continuos». No son concepciones equivalentes, como parecen ser consideradas en algunas investigaciones. Algunos alumnos parecen negar el vacío, pero no las partículas con huecos entre las mismas. Luego, no son continuos. Concepciones de este tipo (partículas sin vacío) han existido en épocas históricas anteriores, entre los que se hacían llamar *mecanicistas plenistas* (Benarroch, 1998a).

c) Se sabe que los alumnos adjudican propiedades humanas (crecer, hacerse más gordas, etc.) y macroscópicas (dilatarse, fundirse, etc.) a las partículas microscópicas (Brook et al., 1984). Se desconoce el significado atribuido por los alumnos a los términos que usan cuando aluden a esas propiedades.

d) Las ideas corpusculares son más frecuentes para los gases que para los sólidos y líquidos (Novick y Nussbaum, 1981; Stavy, 1988; Posada, 1993, 1995). Se desconoce si esto también es así para alumnos que tienen problemas para concebir los gases como materia (menores de doce años). El papel de los aspectos perceptivos en la construcción de las nociones corpusculares es uno de los aspectos claves a dilucidar (Benarroch, 1997).

e) Hay una controversia entre el atomismo piagetiano y las nociones corpusculares alternativas de los alumnos, que podría ser sintetizada como lo hace Blanco (1995): «La situación actual respecto a la génesis del atomismo es que, en contra de lo que afirmaba Piaget, éste no es universal-

mente adquirido en el curso del desarrollo natural del niño y que es primordialmente el resultado de los aprendizajes escolares». El papel que el desarrollo natural y los aprendizajes específicos desempeñan en la génesis de las nociones corpusculares es algo aún sin dilucidar.

f) Se desconoce la relación entre las representaciones icónicas y la concepción corpuscular implicada. Para algunos autores (Barboux et al., 1987), muchas producciones puntuales no implican concepciones discontinuas. Otros (Benson et al., 1993) señalan justamente lo contrario, al argumentar que son los dibujos continuos los que pueden suscitar polémica al poder estar realizados simplemente a un nivel más bajo de resolución.

A nuestro parecer, algunas de estas dudas, lagunas o contradicciones se podrían deber a la ausencia de estudios evolutivos que mostraran cómo se desarrolla el conocimiento de los alumnos en esta área específica. También podrían deberse a la ausencia de marcos teóricos que, haciendo uso de la psicología cognoscitiva, permitieran pasar de la descripción de los niveles de conocimiento a su interpretación en términos de constructos no observables de la cognición humana. Nuestra hipótesis, confirmada en los últimos trabajos (Benarroch, 1998b), es que esta forma de actuar permite alcanzar implicaciones didácticas fundamentadas (Benarroch, 2000) y que los datos empíricos aparentemente contradictorios que se han expuesto anteriormente dejarían de serlo al encajar adecuadamente en la evolución cognoscitiva. A continuación se expone el marco teórico usado en nuestras investigaciones.

UN MARCO TEÓRICO PARA EXPLICAR LAS RESPUESTAS DE LOS ALUMNOS SOBRE LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA

El modelo cognoscitivo usado para la interpretación de las respuestas de los alumnos es el de Marín (1994a). Surgió como un intento pionero de caracterizar las concepciones estudiantiles (ver otros intentos, por ejemplo, Black y Lucas, 1993; Chi et al., 1994; Furió, 1996; Pozo, 1996; Wandersee, Mintzes y Novak, 1994; Vosniadou, 1994; etc.). Ya fue utilizado para interpretar las explicaciones de los alumnos sobre situaciones de equilibrio mecánico (Marín, 1994b). Ahora, al aplicarlo al contenido de la naturaleza corpuscular de la materia (Benarroch, 1998b), al tiempo que ha sufrido ligeras modificaciones, ha permitido dar coherencia tanto a los alcances empíricos acumulados hasta el momento como a las contradicciones aparentes detectadas en la bibliografía.

Como señalan Pozo y Gómez Crespo (1998), hay distintos niveles de análisis representacional del conocimiento de los alumnos. El modelo cognoscitivo de Marín (1994a) distingue entre el plano observable y el plano no observable de la cognición del sujeto. Como se indica en la figura 1, en el primero situamos las mismas respuestas del alumno y los esquemas explicativos; en el plano no

observable, los esquemas operatorios y los esquemas específicos. De este modo, cuando se presenta a un alumno una tarea o una situación física concreta, éste procesa los datos percibidos y ofrece, en definitiva, una respuesta. Los agentes causantes de este procesamiento son sus esquemas cognoscitivos; en este modelo, se defiende que esos esquemas pueden ser de dos tipos: los operacionales generales y los esquemas específicos (Benarroch y Marín, 1997). A continuación, nos referiremos a cada uno de estos constructos para aclarar su naturaleza.

Respuestas del alumno

Se entiende como tales cualquier reacción del sujeto (sea o no de compromiso, de azar, etc.) ante la situación problemática planteada. Entre las respuestas, cabe distinguir respuestas significativas y no significativas. Las primeras son producto de la activación de las estructuras cognoscitivas internas. En las segundas, la activación de estas estructuras es menor, hay menos reflexión en el sujeto y, en consecuencia, contienen menos información de los esquemas de conocimiento. En realidad, respuestas significativas y no significativas serían los extremos de un continuo de significación, de modo que, cuanto más nos desplazamos en la dirección positiva, tanto más reflejo e implicación hay de las estructuras cognoscitivas internas.

Esquemas explicativos

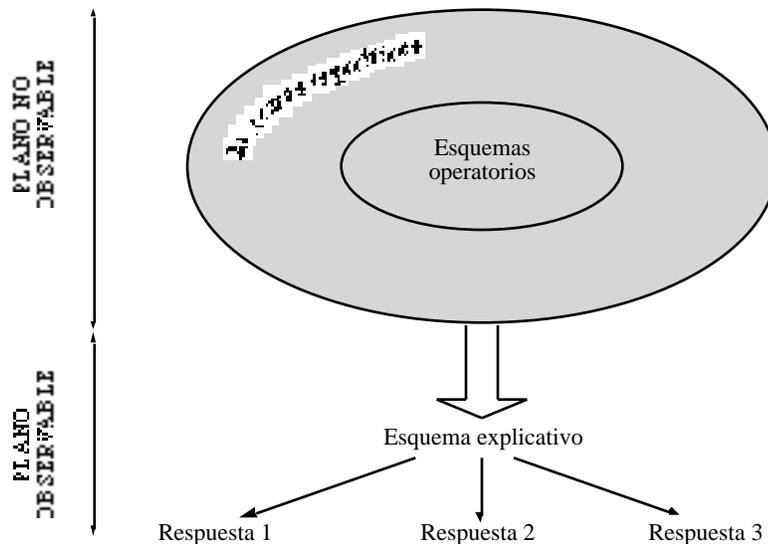
Son reconstrucciones que el investigador realiza a partir de las respuestas de los alumnos dadas a una diversidad de contextos y situaciones problemáticas sobre el mismo contenido. Para construir un esquema explicativo se han de utilizar respuestas lo más significativas posible. El esquema alcanzado será un esquema explicativo maduro cuando cumpla las condiciones siguientes de regularidad:

- a) Repetición: Implica la utilización del mismo esquema cuando se introducen variaciones cuantitativas de las variables que intervienen en el sistema.
- b) Generalización: Implica la utilización del esquema ante situaciones distintas pero científicamente equivalentes a las utilizadas para generarlo y, por tanto, ante variaciones cualitativas de las variables que intervienen.
- c) Diferenciación: Supone la adaptación del esquema ante nuevas situaciones por reconocer las semejanzas y las diferencias de las variables puestas en juego en ellas frente a las utilizadas para generar el esquema.

Así, por poner un ejemplo, un esquema usado por un alumno para la tarea de la disolución del azúcar en agua, será explicativo siempre que:

- sea utilizado igualmente aun cuando no se percibiera el sabor del azúcar o el aspecto granular del mismo (repetición);

Figura 1
Relación de los constructos definidos en el modelo cognitivo utilizado en el trabajo.



- sea utilizado ante nuevas disoluciones de líquidos en agua o ante otras situaciones en las que interviniera, por ejemplo, el aire (generalización); y
- sea diferenciado o modificado adecuadamente para acomodarse a las peculiaridades de las nuevas situaciones citadas, explicando sus semejanzas y sus diferencias respecto a la de la disolución del azúcar en agua (diferenciación).

En la investigación de las explicaciones de los estudiantes sobre la naturaleza corpuscular de la materia, se han encontrado cinco niveles de esquemas explicativos (Benarroch, en prensa). Estos niveles reflejan supuestamente los esquemas específicos y generales de la cognición del sujeto. Estos últimos serían, por tanto, los agentes del plano no observable de la cognición del sujeto, causantes de la transformación de los datos percibidos en las tareas. A continuación, aclararemos la naturaleza de estos constructos cognoscitivos.

Esquemas operatorios

Son responsables de los efectos de transferencias originados por el desarrollo cognoscitivo del estudiante. Aunque fueron ampliamente estudiados por Piaget (1977), también Ausubel y sus colaboradores (1983), apoyan la influencia del nivel operatorio sobre el aprendizaje. Así, nos dicen que, al enfrentar a un adulto maduro cognoscitivamente a las tareas de un curso introductorio de astronomía, es posible que inicialmente se desempeñe a un nivel concreto e intuitivo, pero también que rápidamente

(mucho más de lo que lo haría un joven de once años de edad) pase a hacerlo de manera abstracta. Aunque las ideas particulares sobre la astronomía sean similares tanto para el adulto como para el joven de once años, la transferencia originada por el mayor desarrollo cognoscitivo del adulto facilita el aprendizaje de esta materia en particular.

El substrato cognoscitivo formado por estos esquemas podría ser competencial, y con esto queremos decir que no siempre se reflejaría de forma inmediata. Sin embargo, los alumnos manifestarían este substrato cuando se les diera oportunidad de expresar su conocimiento en toda su extensión y es, entonces, cuando resultarían diferencias de actuaciones según sean los niveles operacionales. Así, por ejemplo, en nuestra investigación, encontramos que incluso después de largo rato dialogando sobre fenomenologías relacionadas con la naturaleza corpuscular de la materia, destacando incongruencias entre explicaciones y datos empíricos, entre explicaciones dadas en distintas fases de la entrevista, etc., había alumnos que no comprendían la diferencia entre un dibujo con partículas y un dibujo continuo. Para estos alumnos, las partículas no eran otra cosa que partes de ese continuo. Incluso seguían pensando así después de explicarles «lo que piensan los científicos sobre la materia». La información científica no lograba alterar esta idea y la entrevistadora no encontraba la estrategia adecuada para motivar a estos estudiantes, mostrándoles la utilidad del modelo científico. La barrera de estos alumnos parecía ser el pensamiento hipotético-deductivo, ya que sólo eran capaces de razonar sobre lo real, sobre lo que conocen o tienen presente... las partículas

de sus dibujos son las burbujas del agua o las «cositas» del aire o los huecos del aire... en definitiva, son cosas que existen y no hipótesis construidas por su utilidad.

Para nosotros, cada nivel de esquemas operatorios supone un nivel competencial dentro del cual se permite un enriquecimiento determinado de esquemas específicos. Aclaremos este punto a continuación.

Esquemas específicos

Son esquemas dependientes del contenido que surgen de la abstracción simple o empírica de las propiedades de los objetos, resultando una conceptualización en cierto modo descriptiva de los mismos (de su consistencia, pesadez, inercia, densidad, blandura, etc.). Nuestra hipótesis considera que el sujeto, en función de su nivel de esquemas operatorios, va evolucionando en su capacidad de transformación de los esquemas específicos. Todo funciona como si los esquemas específicos permiti-

tieran que las operaciones mentales actuaran sobre ellos, como si fueran operadores, de modo que la respuesta generada resulta distinta según sea el nivel de operaciones mentales en que se encuentre el alumno.

Ya que los esquemas específicos sufren una transformación dependiente del desarrollo de esquemas operatorios, determinados niveles de esquemas específicos sólo son alcanzados selectivamente con un determinado sustrato operatorio. Así, por ejemplo, no parece fácil adquirir el esquema específico relacionado con la diferenciación entre materia y no materia en los niveles operacionales más concretos. Hemos sugerido que la adquisición significativa del vacío microscópico está dificultada por la existencia de una barrera de doble naturaleza: por un lado, el requerimiento operatorio de la discontinuidad (que implica la diferenciación entre volumen total y el volumen corpuscular total) y, por otro, el requerimiento específico de la diferencia entre materia y no-materia. La historia de la ciencia nos muestra ejemplos significativos de que el conocimiento específico sobre la diferen-

Figura 2
Descripción de los niveles de esquemas explicativos de los alumnos sobre la corpuscularidad de la materia.

NIVEL	MODELO DE MATERIA	TIPO DE EXPLICACIÓN
I Continuidad. Sin explicación	La materia se percibe continua y estática, salvo que macroscópicamente se observe lo contrario.	No hay explicación, sólo descripción macroscópica.
II Continuidad. Explicaciones pseudomacroscópicas	La materia se percibe: – continua, embutida de partículas – continua con huecos. La opción elegida está regida por la percepción.	Se trasladan elementos percibidos (burbujas, pompitas, huecos, etc.) a explicaciones pseudomicroscópicas.
III Discontinuidad. Explicaciones microscópicas fundamentadas en partículas y huecos	La materia está formada por partículas y huecos entre las mismas. No hay necesidad de vacío entre partículas.	Explicaciones microscópicas fundamentadas en: – partículas – huecos etéreos a los que se trasladan las propiedades macroscópicas.
IV Discontinuidad. Explicaciones macroscópicas fundamentadas en partículas y vacío	La materia está formada por partículas y vacío necesario entre las mismas.	Explicaciones microscópicas fundamentadas en las disposiciones de partículas (más separadas o menos).
V Discontinuidad. Explicaciones microscópicas académicas	El movimiento se hace necesario y hay una coordinación causal con el vacío.	Explicaciones microscópicas académicas o cuasiacadémicas.

cia entre materia y no-materia es importante para la adquisición del vacío microscópico. Veamos algunas citas textuales de quiénes no dudamos que son de la más alta competencia operatoria:

«Si de ese noble experimento se infiere o no un vacío, así yo debiera en esta ocasión ofrecer mi opinión sobre esta controversia... no osaré aún tomar sobre mí la determinación de una controversia tan difícil» (Boyle, 1660, en Solís, 1985, pp. 63-64).

«Nuestra percepción normal de vacío, en sí una paradoja, es aquello que permanece cuando todo se ha quitado. [...] Clarificar el concepto de la nada es uno de los más interesantes desafíos de la física en la actualidad» (Rubbia, 1992).

Probablemente, el modelo teórico pueda parecer genérico y poco novedoso. No se nos escapa la similitud entre algunos de nuestros constructos con los propuestos por otros autores. Así, Vosniadou (1994) distingue entre modelo mental, teoría específica y teoría estructural o teoría-marco, de modo parecido a nuestros esquemas explicativos, esquemas específicos y esquemas operatorios, respectivamente. Pozo y Gómez Crespo (1998) también distinguen entre respuestas, teorías de dominio y teorías implícitas, similarmente a nuestras respuestas, esquemas específicos y esquemas explicativos, respectivamente. La distinción de Carey (1985, 1991) entre conceptos, creencias o proposiciones y teorías resulta más difícil de emparentar con la nuestra. A nuestro parecer, esta autora sólo hace referencia al plano observacional, existiendo bastante similitud entre su concepto de *teoría* (tal y como lo utiliza Benlloch, 1997) y nuestro concepto de *esquema explicativo*. Resulta satisfactorio que un modelo gestado por nosotros a principios de esta década encuentre sus filiaciones durante la misma con trabajos de autores tan prestigiosos como los citados.

UTILIZACIÓN DEL MARCO TEÓRICO PARA INTERPRETAR LA EVOLUCIÓN COGNOSCITIVA SOBRE LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA

De las respuestas de los alumnos a los esquemas explicativos

En un trabajo reciente (Benarroch, en prensa), se han descrito los niveles de esquemas explicativos sobre la naturaleza corpuscular de la materia encontrados en una muestra de 43 alumnos de diversas edades (9-22 años). Estos niveles fueron alcanzados, mediante un proceso de aproximaciones sucesivas, después de agrupar, jerarquizar y comparar las respuestas de los alumnos obtenidas mediante entrevista. En definitiva, se fueron buscando las regularidades de respuestas, con propiedades de repetición, generalización y diferenciación. También resultó de una ayuda inestimable un tratamiento estadístico para variables categoriales ordinales. Un resumen

de los modelos de materia y de los tipos de explicaciones asociados a cada uno de los niveles puede verse en la figura 2.

Conocer la evolución de los niveles explicativos resulta ya de una ventaja incalculable para el diseño de las intervenciones didácticas. Así, ante un conjunto de respuestas dado por un grupo de alumnos, sería posible diversificar los niveles de partida asociados y, por tanto, los diseños de enseñanza correspondientes. Por ejemplo, en la figura 3 vemos las respuestas encontradas por Pozo y Gómez Crespo (1998, p. 160) ante una pregunta sobre los cambios de la materia. Sin embargo, no todas estas respuestas sugieren un mismo nivel de esquemas explicativos. Así, las respuestas 1 y 2 («El caramelo tiene sustancias solubles y la piedra no.»; «La piedra no se disuelve [...] es dura y fuerte y está hecha por la naturaleza.») no hacen más que describir la situación en términos macroscópicos, lo que corresponde al nivel I de esquemas explicativos. En cambio, la respuesta 3 («el caramelo tiene partículas que se disuelven y la piedra no») es característica del nivel II, en el que las partículas experimentan el mismo cambio que ocurre desde el punto de vista macroscópico. Por último, la respuesta 4 («Las partículas de la piedra están más juntas que las del caramelo») contiene ya una explicación causal característica de la discontinuidad y sugiere como mínimo el nivel III de esquemas explicativos. Aunque no pretendemos defender la asociación entre respuesta y nivel explicativo, sí que se puede alcanzar una cierta información del intervalo explicativo de cada alumno mediante el conjunto de respuestas dadas a una diversidad de situaciones problemáticas. Estimar adecuadamente los niveles de partida supone ventajas indudables para la diversificación de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

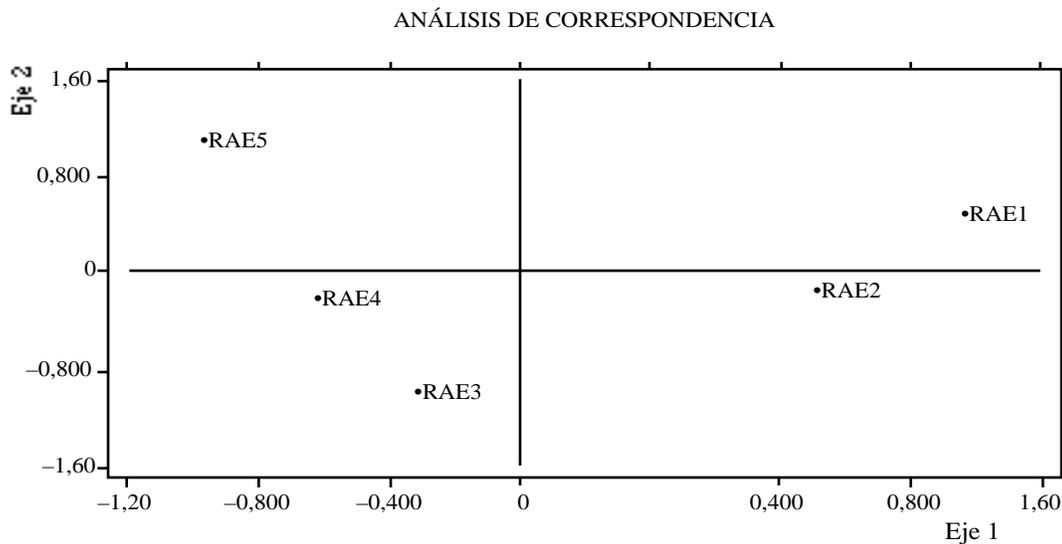
Ahora bien, la información de los niveles de partida no es suficiente para el diseño del proceso de enseñanza-aprendizaje. Sería conveniente conocer las dificultades que separan los distintos niveles, las distancias relativas entre los mismos, las situaciones que favorecen los cambios cognoscitivos, etc.

Figura 3

Algunos ejemplos de respuestas de alumnos tomados de Pozo y Gómez Crespo (1998) y el nivel explicativo adjudicado.

¿Por qué se disuelve un caramelo en agua y una piedra no lo hace?	
«El caramelo tiene sustancias solubles y la piedra no.»	nivel I
«La piedra no se disuelve [...] es dura y fuerte y está hecha por la naturaleza.»	nivel I
«El caramelo tiene partículas que se disuelven y la piedra no.»	nivel II
«Las partículas de la piedra están más juntas que las del caramelo.»	nivel III

Figura 4
Proyección del rendimiento de los grupos de alumnos sobre el plano que recoge mayor porcentaje de inercia (Benarroch, 1998).



Barreras entre niveles explicativos

En la construcción de los niveles de esquemas explicativos anteriores, parecen existir obstáculos de distinta importancia o dificultad entre niveles sucesivos contiguos. Veamos algunos datos empíricos extraídos de la investigación aludida que apoyan esta afirmación (Benarroch, 1998b):

- El tratamiento estadístico realizado y, concretamente, el análisis de correspondencias entre categorías de respuestas ponen sistemáticamente de relieve que la distancia entre los niveles II y III de la evolución cognoscitiva es mayor que el resto de distancias entre niveles contiguos. Así, por dar alguna muestra gráfica de lo que acabamos de señalar, en la figura 4 puede apreciarse la proyección de los rendimientos medios acumulados (RAE) de los alumnos de cada nivel sobre el plano formado por los ejes con mayor porcentaje de inercia. Evidentemente, y sin entrar en detalles técnicos, esta variable (RAE) hace una valoración cuantitativa del rendimiento global de cada alumno en la entrevista de la que fue objeto. Concretamente, dado que el eje de abcisas es el que representa la evolución del conocimiento sobre la naturaleza corpuscular de la materia, en esta figura 4, puede observarse que la distancia en ese eje de abcisas entre los grupos RAE-2 y RAE-3 es mayor que la existente entre los demás grupos contiguos. Por tanto, son los grupos de alumnos más distanciados en cuanto a su evolución cognoscitiva.

- Estudiando la competencia operatoria individual de los alumnos de cada uno de los niveles de esquemas

explicativos, lo que se hizo mediante dos pruebas o tareas razonadas de ciencias de Shayer y Adey (1984), encontramos una discontinuidad entre los niveles I y II, por una parte, y los niveles III, IV y V, por otra. Así, todos los alumnos de los niveles I y II resultaron ser de niveles operacionales inferiores o iguales al transicional formal. En cambio, todos los de los niveles III, IV y V son de niveles operacionales superiores o iguales a este nivel operatorio.

Estos datos junto a otros que no citamos por exceder los límites de este trabajo, interpretados con el modelo cognoscitivo descrito anteriormente, nos llevan a postular que la barrera entre los niveles II y III de la evolución cognoscitiva podría ser de naturaleza operatoria, mientras que las barreras de los demás niveles contiguos podrían ser de carácter específico. Veamos cómo se puede interpretar la evolución cognoscitiva admitiendo estos aspectos.

Explicación de la evolución cognoscitiva mediante esquemas específicos y operatorios en la mente del alumno

De la conjunción de los datos experimentales obtenidos por nosotros y por otros autores (Trivelato, 1989; Stavy, 1988; Haydar y Abraham, 1991; Pozo y Gómez Crespo, 1998) se ha alcanzado una interpretación posible de la evolución del conocimiento del alumno en términos de constructos no observables de su cognición. Esta interpretación consta de dos tramos evolutivos, correspondientes a los dos apartados siguientes, diferenciados entre sí por una reestructuración de los esquemas

previos. Dentro de cada tramo, la evolución cognoscitiva implica un enriquecimiento de esquemas, entendido éste, no como la simple adición de nuevas incorporaciones, sino como el desarrollo gradual de los mismos por procesos de coordinación y diferenciación.

Así, la evolución cognoscitiva en función de estos elementos no observables se podría interpretar como sigue (Fig. 5):

1) Los esquemas lógicos de adición partitiva a objetos macroscópicos y esquemas infralógicos de desplazamiento *sobre objetos macroscópicos* permiten al sujeto ir realizando un primer enriquecimiento progresivo de esquemas específicos en el ámbito macroscópico. Los primeros esquemas específicos relacionados con la materia (los gases no existen, el aire es nada salvo que esté en movimiento, el agua es continua y móvil, el color es insustancial, etc.) son progresivamente coordinados y diferenciados dando lugar a nuevos esquemas (los sólidos pueden estar formados por granos permanentes, aunque no se vean a simple vista; los gases lo llenan todo, aunque a veces no se vean ni se sientan, etc.).

Por tanto, en el ámbito microscópico, las concepciones no se desligan de las percepciones, primero macroscópicas y más tarde de los pequeños indicios inducidos por el sistema en transformación. Sin embargo, las explicaciones asociadas al distinto grado de desarrollo de estos esquemas específicos experimentan un claro enriquecimiento: pasan de ser descriptivas («el agua no se puede apretar, el aire sí», «el color se esparce más cuando hay más calor», etc.) a ser explicativas («el agua no tiene huecos, el aire sí», «las partículas de colorante van más deprisa con el calor») introduciendo elementos (partículas o huecos) aún descoordinados entre sí y muy ligados a las características perceptivas del sistema en transformación.

2) La transición al nivel operatorio formal y, por tanto, los nuevos esquemas lógicos de adición partitiva a objetos microscópicos y esquemas infralógicos de desplazamiento *sobre objetos microscópicos* permiten al sujeto la diferenciación entre el volumen total y el volumen corpuscular total, lo que le lleva a ver necesaria la existencia de huecos entre partículas. A partir de aquí, se produce un segundo nivel de enriquecimientos progresivos de esquemas específicos, que van desde los EE3 hasta los EE4:

Esquemas específicos 3: La materia, independientemente de su estado físico, debe estar formada por partículas y huecos entre las mismas. Sólo hay movimiento cuando éste es perceptible.

Esquemas específicos 4: La materia debe estar formada por partículas y nada más, pues, si hubiera algo, esto también debería estar formado por partículas y, entonces, el modelo sería recurrente. Dichas partículas no existen desde el punto de vista microscópico. No obstante, aún no están integrados los subesquemas de movimiento e interacción, lo que requiere de un tiempo para incorporarse y formar un único modelo necesario.

Los primeros esquemas específicos derivados del aparato lógico se muestran competitivos con los derivados de la percepción procedentes de la etapa cognoscitiva anterior. Las situaciones físicas donde no hay indicios perceptivos más que indirectos (como es la compresibilidad del aire) ayudan a su adquisición. Esos esquemas son ya discontinuos, y las partículas, en esta etapa, se diferencian de las de la anterior en que no son concebidas como visibles ni siquiera microscópicamente. De forma paulatina, se van incorporando nuevos esquemas, tales como los que implican *la diferenciación entre materia y no materia*, o los derivados de la existencia de la materia en

Figura 5
Interpretación de la evolución cognoscitiva mediante esquemas operatorios y esquemas específicos.

Esquemas operatorios	Adición partitiva y desplazamiento sobre objetos macroscópicos		Adición partitiva y desplazamiento sobre objetos microscópicos		
Esquemas específicos	Los gases no existen El aire es el viento El agua es continua El color es insustancial	Los gases llenan todo lo invisible Los sólidos pueden estar formados por granos	La materia, sólida, líquida y gaseosa, está formada por partículas y huecos	El vacío no es materia	Esquemas académicos
NIVEL DE ESQUEMAS EXPLICATIVOS	I	II	III	IV	V
	PARTÍCULAS REALES		PARTÍCULAS HIPOTÉTICAS		

distintos estados. Finalmente, se alcanza la noción de *vacío necesario*. Sin embargo, este modelo se torna inestable en una última fase ante la incapacidad de explicar todas las situaciones, lo que parece verse muy condicionado a la posibilidad de coordinación de los subesquemas de vacío e interacción.

EXPLICACIÓN DE LAS CONTRADICCIONES EMPÍRICAS EN CONCEPCIONES SOBRE LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA

El marco teórico utilizado para explicar la evolución del conocimiento de los estudiantes sobre la naturaleza corpuscular de la materia permite dar una interpretación coherente a las dudas, lagunas y contradicciones detectadas en la bibliografía, aludidas en el apartado 2 de este trabajo.

Así, vimos que:

- Existen notables discrepancias entre los diversos autores para fijar la frecuencia de los sujetos que utilizan de forma espontánea el modelo corpuscular.

Según nuestros resultados, la diferencia podría estribar fundamentalmente en «la concepción que los investigadores tengan del modelo corpuscular». La presencia de partículas es muy temprana dentro de la evolución cognoscitiva en esta área. El modelo corpuscular académico es, en cambio, una adquisición tardía, costosa y en muy pocos casos conseguida. Al no diferenciar entre unos niveles y otros, se comprende que surjan contradicciones: por un lado, los que simplemente identifican partículas en la materia (Brook et al., 1984; Benarroch, 1989), lo que ocurre para los alumnos de todos los niveles a excepción del primero, que, por tanto, encontrarán porcentajes elevados; por otro lado, los autores que consideran modelos con mayores exigencias cognoscitivas (Llorens, 1988; Stavy, 1988), que incluyen la aceptación del vacío, lo que implica sujetos de los niveles IV y V solamente, y que, por tanto, detectarán porcentajes bastante inferiores.

- El vacío entre partículas es uno de los obstáculos epistemológicos para un aprendizaje científico del modelo corpuscular de la materia.

Hemos sugerido que no sólo esta afirmación es cierta sino que además el alumno que se plantea el vacío como obstáculo epistemológico tiene ya un cierto nivel de esquemas operatorios.

Esto es, los sujetos de los niveles I y II no distinguen aún entre el volumen total y el volumen corpuscular total. El concepto de *vacío* es necesario para completar esta diferencia, manteniendo la igualdad entre el peso total y el peso corpuscular total. Por tanto, podrán aceptar o rechazar este concepto, pero no lo hacen significativamente: el vacío no es para ellos una barrera epistemológica, pues no se alcanza a comprender su significado.

Sin embargo, los sujetos del nivel III sí que se plantean (aunque a veces aún no de manera consciente) la problemática del vacío como obstáculo epistemológico. Hemos comprobado cómo la tarea de la compresibilidad del aire ayuda a su adquisición. No obstante, como ya señalamos, se requieren otros esquemas específicos relacionados con la diferenciación entre materia y no materia, para que la adquisición del vacío sea significativa y pueda transferirse a sólidos y líquidos.

En síntesis, el vacío sólo parece suponer un verdadero obstáculo para sujetos del tercer nivel. Los de niveles anteriores carecen de esquemas adecuados para asimilar este concepto. Para los posteriores no puede suponer un obstáculo algo que ya se comprende.

- Las partículas de las que suelen hablar los alumnos no se corresponden con la visión científica de las mismas.

Nuestros datos sugieren que, desde los 9 años de edad, los sujetos no adjudican características humanas a las partículas, aun cuando utilizan terminologías engañosas que puedan inducir al investigador a creerlo («crecen», «se hacen más gordas», etc.) y que, como los mismos niños reconocen cuando se les invita a hacerlo, carecen del significado que a veces se les ha atribuido. La ausencia de un lenguaje más preciso les lleva a expresar con estas palabras significados más complejos.

En cambio, es frecuente la adjudicación de características macroscópicas a las partículas microscópicas. Esto, sin embargo, indica ya una cierta evolución en la construcción de las nociones corpusculares. Así:

- No es de esperar esta transposición en los primeros niveles evolutivos, donde las partículas no existen o no son operativas para explicar los hechos empíricos. La transposición se puede dar, pero sólo desde el punto de vista de significantes.

- Cuando se alcanza el nivel III, los sujetos admiten partículas con huecos entre las mismas, aun cuando los huecos no estén vacíos. Sus explicaciones se pueden fundamentar en las hipotéticas partículas que, en ausencia de otros elementos del modelo corpuscular, se convierten en las protagonistas de todos los procesos que intentan explicar: partículas que aumentan o disminuyen de tamaño, partículas que absorben a otras, que se disuelven o cambian de estado, que están rotas o dilatadas, etc.), o bien en los fondos etéreos a los que se les adjudican algunas de las propiedades de las sustancias macroscópicas (fondos más o menos compactos, con más o menos huecos, con distintos estados físicos, etc.).

- ¿Pueden ser más frecuentes las ideas corpusculares para los gases que para los sólidos y los líquidos aun cuando se corresponden con el estado físico con más dificultades cognoscitivas?

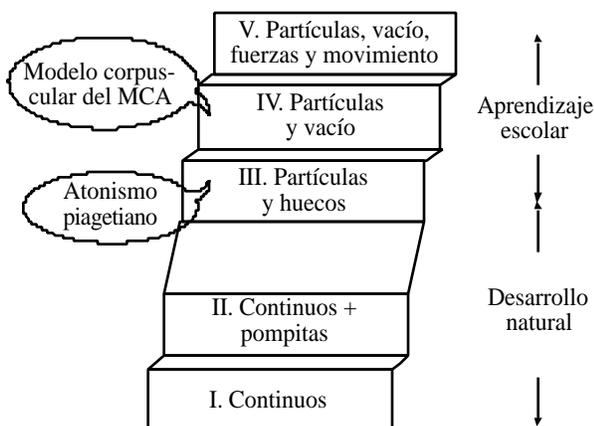
Si las nociones corpusculares son más frecuentes para gases que para sólidos y líquidos, es precisamente porque los primeros ayudan a concebir la existencia de los huecos entre partículas, esto es, favorecen la adquisición

del nivel III de las nociones corpusculares. Este nivel actúa competitivamente con el anterior, derivado de elementos percibidos. Se ha mostrado que esta competencia sólo es posible a partir de un determinado substrato de esquema operatorio equivalente al nivel transicional formal. Por tanto, los gases favorecen las ideas corpusculares sólo cuando se superan las dificultades cognoscitivas asociadas a los mismos.

- ¿Qué papel relativo juegan el desarrollo y el aprendizaje específico en la evolución conceptual sobre la naturaleza corpuscular de la materia?

El marco teórico utilizado en nuestras investigaciones pone de manifiesto que ambos aspectos, el desarrollo operatorio y el aprendizaje específico, son importantes para una evolución conceptual normal en esta área. Aunque en este trabajo se ha concebido el desarrollo desde el punto de vista de etapa piagetiana, sea ésta la concepción o sea la de una *reestructuración envolvente de dominios específicos* (Carey, 1985), lo que sí parece evidente es la influencia de los aspectos generales sobre la evolución conceptual. Y, como tratamos de esquematizar en la figura 6, esta influencia se hace protagonista en los primeros niveles de la evolución cognoscitiva, donde la ausencia de competencia operatoria impide el alcance del nivel III de esquemas explicativos. A partir de este nivel de desarrollo, el protagonismo parece recaer más sobre el aprendizaje específico, para permitir la adquisición de la noción de *vacío* y la correspondiente diferenciación entre materia y no-materia. En definitiva, todo apunta a que el aprendizaje del modelo corpuscular de la materia requiere de un substrato operatorio que es condición necesaria pero no suficiente. Esta última condición debe ser cubierta por el substrato específico.

Figura 6
Influencia del desarrollo y del aprendizaje específico sobre la evolución de las nociones sobre la naturaleza corpuscular de la materia.



- ¿Hay alguna relación entre las representaciones icónicas y las concepciones sobre la naturaleza corpuscular de la materia?

Hemos comprobado el escaso significado de los dibujos realizados por los alumnos. Formas icónicas aparentemente idénticas representan nociones corpusculares muy diferenciadas y alejadas entre sí. Por ejemplo, los circulitos, puntitos, etc., muy usuales en las representaciones, pueden significar huecos, burbujas similares a las percibidas, algunas partículas seleccionadas del continuo (formado por partículas «más disueltas»), partículas representativas de la naturaleza de la sustancia, etc. Las formas icónicas, como significantes que son, evolucionan más lentamente que los significados atribuidos. La intuición del significado por parte del investigador lleva en cierta medida a las contradicciones expresadas en el primer apartado.

CONCLUSIONES

En un trabajo anterior (Benarroch, en prensa) se puso de manifiesto que, a pesar de los presagios pesimistas iniciales a extraer resultados generales de las respuestas de los alumnos –ante un conjunto de situaciones físicas que pueden ser explicadas en términos corpusculares–, finalmente fue posible extraer regularidades de respuestas que, por cumplir las condiciones de repetición, generalización y diferenciación, nos permitieron alcanzar los llamados esquemas explicativos. La sola existencia de estos esquemas parece sugerir que son consecuencia de una mente estructurada.

En este trabajo hemos defendido que, para extraer implicaciones didácticas sobre los mecanismos que pueden ayudar a un individuo desde un nivel de realización cognitiva al siguiente, se requiere de modelos representacionales de la cognición del sujeto y de su aprendizaje. En nuestro caso, hemos trabajado con un modelo que defiende que los agentes cognoscitivos causantes de la transformación de los datos percibidos en las tareas son de dos tipos: esquemas operatorios generales y esquemas específicos.

Al ligar los niveles de esquemas explicativos, situados en el plano observable de la cognición del alumno, con los esquemas operatorios y específicos, situados en el plano no observable de su cognición, se obtiene una interpretación de la evolución cognoscitiva que hace hincapié en los agentes y mecanismos de cambio de un nivel de esquemas explicativos al siguiente. Sería deseable comprobar la validez del modelo en otro ámbito conceptual. En nuestro caso, ha sido posible:

- a) dar una interpretación de las dudas, lagunas y contradicciones aparecidas en las aportaciones empíricas sobre el conocimiento acerca de la corpuscularidad de la materia; y
- b) describir el proceso de cambio o desarrollo conceptual en términos de los principales agentes res-

ponsables de los mismos, ya generales, ya específicos, lo que reporta una información beneficiosa que podría ser usada para guiar las intervenciones educativas (Benarroch, 2000).

Por tanto, los resultados de este estudio cognitivo o de desarrollo proporcionan sugerencias fundamentadas para las investigaciones sobre el aprendizaje de este contenido. Concretamente sugieren objetivos diversificados para la educación primaria y para la secundaria. Así, para la primera podría pretenderse el desarrollo cognoscitivo desde el punto de vista macroscópico y el de la correspondencia 1/1 entre tipo de sustancia y clase de partículas. En la secundaria, se procuraría el cambio a través de los niveles III, IV y V de realización cognoscitiva. En este caso, nuestros estudios señalan que, más que pretender un cambio o reestructuración súbita, se requiere de una revisión lenta del sistema conceptual inicial a través de la incorporación, coordinación y diferenciación gradual de esquemas. Durante este proceso, los alumnos, con un nivel de desarrollo adecuado, necesitan ser ayudados sucesivamente para:

a) garantizar la generalización y la concienciación de la visión discontinua, formada por partículas y huecos entre las mismas, mediante una diversidad de situaciones problemáticas (disolución de alcohol y agua, cambios de estado con incrementos de

concentración, etc.) con elementos perceptivos variados;

b) favorecer la construcción de la noción de *vacío* necesario, diferenciando explícitamente entre materia (éter, aire, agua, hidrógeno, «algo», etc.) y no-materia (calor, luz, vacío, etc.); y

c) mostrar la utilidad de incorporar los aspectos dinámicos del modelo corpuscular (movimiento e interacción entre partículas) con el subesquema de partículas/vacío para dar una explicación coherente a las situaciones físicas.

Lógicamente, con este tipo de estudios no se pretende agotar las vías de investigación para el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias. En el futuro se necesita la conexión con los factores de situación, sociales y culturales, que rodean la enseñanza en un aula escolar. También se necesita el desarrollo de instrumentos de medida cognoscitivos, de la capacidad de metacognición, etc. más fiables que los existentes hasta el momento. Al fin y al cabo, respetando las diferencias con el conocimiento científico, para avanzar en didáctica de las ciencias, también se requiere ir aislando y analizando las variables que intervienen en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Y una inevitable, quizás la más influyente, es la constituida por el niño que, con su mente y sus capacidades, ha de aprender.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUSUBEL, D., NOVAK, J. y HANESIAN, H. (1983). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas. Trad. de Ausubel, D. (1968). *Educational Psychology*. Nueva York: Holt, Rinehart and Winston.
- BARBOUX, M., CHOMAT, A., LARCHER, C. y MEHEUT, M. (1987). *Modèle particulaire et activités de modélisation en classe de 4ème*. Documento de investigación núm. 12.09.84.87. París: LIRESTP.
- BENARROCH, A. (1989). La naturaleza «particulativa» de la materia. Un estudio longitudinal de ideas previas. *Publicaciones*, 15, pp. 135-148.
- BENARROCH, A. (1997). El rol de los aspectos perceptivos en el aprendizaje de la naturaleza corpuscular de la materia. Dos paradigmas enfrentados. *Publicaciones*, núms. 25-26-27, pp. 67-83.
- BENARROCH, A. (1998a). Reflexiones históricas sobre la naturaleza corpuscular de la materia. Implicaciones para el análisis de las respuestas de los alumnos, en Jiménez, M.A. et al. (eds.), *Didáctica de las ciencias y transversalidad*. Málaga: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga.
- BENARROCH, A. (1998b). «Las explicaciones de los estudiantes sobre las manifestaciones corpusculares de la materia. Descripción, análisis y predicción de características y dificultades». Tesis doctoral inédita. Universidad de Granada.
- BENARROCH, A. (2000). Del modelo cinético-corpuscular a los modelos atómicos. Reflexiones didácticas. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 23, pp. 95-108.
- BENARROCH, A. (en prensa). El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*.
- BENARROCH, A. y MARÍN, N. (1997). «Dependencia de las explicaciones de los alumnos de esquemas de conocimiento específicos y generales». Comunicación presentada al V Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Murcia. Septiembre.
- BENLLOCH, M. (1997). *Desarrollo cognitivo y teorías implícitas en el aprendizaje de las ciencias*. Madrid: Visor.
- BENSON, D.L., WITTROCK, M.C. y BAUR, M. (1993). Students' preconceptions of the nature of gases. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(6), pp. 587-597.
- BLACK, P. y LUCAS, A.M. (eds.). (1993). *Children's informal ideas in science*. Londres: Routledge and Kegan Paul.
- BLANCO, A. (1995). «Estudio de las concepciones de los alumnos sobre algunos aspectos de las disoluciones y

- de los factores que influyen en ellas». Tesis doctoral. Universidad de Málaga.
- BROOK, A., BRIGGS, H. y DRIVER, R. (1984). *Aspects of secondary students understanding of the particulate nature of matter*. Children's Learning in Science Project, Centre for Studies in Science and Mathematics Education. Universidad de Leeds.
- CAREY, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- CAREY, S. (1991). Knowledge acquisition: enrichment or conceptual change?, en Carey, S. y Gelman, R. (eds.). *Epigenesis of Mind: Studies in biology and cognition*. Hillsdale: Nueva Jersey. Elbraum.
- CHI, M.T.H., SLOTTA, J. y LEEUW, W. (1994). «From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts». *Learning and Instruction*, 4(1), pp. 27-43.
- FURIÓ, C. (1996). Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 7, pp. 7-17.
- GÓMEZ CRESPO, M.A. (1996). Ideas y dificultades en el aprendizaje de la química. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 7, pp. 37-44.
- Haidar, A.F. y ABRAHAM, M.R. (1991). A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particulate nature of matter. *Journal or Research in Science Teaching*, 28(10), pp. 919-938.
- LLORENS, J.A. (1988). La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la Escuela*, 4, pp. 33-49.
- MARÍN, N. (1994a). Elementos cognoscitivos dependientes del contenido. *Revista interuniversitaria de formación del profesorado*, 20, pp. 195-208.
- MARÍN, N. (1994b). «Evolución de los esquemas explicativos en situaciones de equilibrio mecánico». Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- MEHEUT, M. y CHOMAT, A. (1990). The bounds of children's atomism: an attempt to make children build up a particulate model of matter, en Linjse, P.L. Licht, P. de Vos, W. y Waarlo, A.J. (eds.). *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles. A central problem in secondary science education*, pp. 266-282. Utrech: Universidad de Utrech.
- NOVICK, S. y NUSSBAUM, J. (1978). Junior high school pupils understanding of the particulate nature of matter: an interview study. *Science Education*, 63(3), pp. 273-281.
- NOVICK, S. y NUSSBAUM, J. (1981). Pupils understanding of the particulate nature of matter: a cross-age study. *Science Education*, 65(2), pp. 187-196.
- PIAGET, J. (1977). *Epistemología genética*. Buenos Aires: Solpin. Trad. de *L'epistemologie génétique* (1970). París: Presses Universitaires de France.
- POSADA, J.M. (1993). Concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia en el estado sólido. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), pp. 12-19.
- POSADA, J.M. (1995). *Contenidos, actividades o estrategias de enseñanza de la química en la formación científica de ciudadanos*. Encuentro Nacional de Profesores de Matemática, Física, Química y Biología. La Falta (Córdoba). Argentina.
- POZO, J.I. (1996). No es oro todo lo que reluce, ni se construye (igual) todo lo que se aprende. Contra el reduccionismo constructivista. *Anuario de Psicología*, 69(2), pp. 127-140.
- POZO, J.I. y GÓMEZ CREPO, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- POZO, J.I., GÓMEZ CRESPO, M.A., LIMÓN, M. y SANZ, A. (1991). *Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: las ideas de los adolescentes sobre la química*. Madrid: Servicio de Publicaciones del MEC.
- RUBBIA, C. (1992). Incógnitas del universo. *Suplemento Leonardo. El País*, SA, pp. 64-68.
- SHAYER, M. y ADEY, P.S. (1984). *La ciencia de enseñar ciencia. Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo*. Madrid: Narcea.
- SOLÍS, C. (1985). *Robert Boyle: física, química y filosofía mecánica*. Madrid: Alianza editorial.
- STAVY, R. (1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*, 10(5), pp. 553-560.
- STAVY, R. y STACHEL, D. (1985). Children's ideas about «solid» and «liquid». *European Journal of Science Education*, 7(4), pp. 407-421.
- TRIVELATO, G. (1989). «Conservação e modelo corpuscular. Um estudo transversal das explicações des estudantes para transformações de matéria». Tesis de maestría. São Paulo. Brasil.
- VOSNIADOU, S. (1994). Capturing and Modeling the Process of Conceptual Change. *Learning and Instruction*, 4, núms. 45-46, p. 9.
- VOSNIADOU, S. y IOANNIDES, C. (1998). From conceptual development to science education: a psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20(10), pp. 1213-1230.
- WANDERSEE, J.H., MINTZES, J.J. y NOVAK, J.D. (1994). Research on alternative conceptions in science, en Gabel, D. (ed.). *Handbook of research on science teaching and learning*. Nueva York: Macmillan.

[Artículo recibido en febrero de 2000 y aceptado en julio de 2000.]