

# CONCEPCIONES DE LOS ALUMNOS SOBRE EL ENLACE QUÍMICO ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DE LA ENSEÑANZA FORMAL. PROBLEMAS DE APRENDIZAJE

DE POSADA, JOSÉ MARÍA

Delegación de Educación y Ciencia de Málaga. Junta de Andalucía.

C/ Abandola, Ed. Sta. Elena, 5º A1. 29700 Vélez-Málaga (Málaga). E-mail: jmposada@argen.net.

---

## SUMMARY

This paper describes the BUP and COU students' ideas (15-18 years old) about the continuity/discontinuity, atomic/molecular conception, nature of the intramolecular and intermolecular bonds, as the notions of lattice and ion. The results show that the students' idea of continuity in gases declines when the students' academic level increase. The school succeeds in transmitting a molecular view of some substances. Nevertheless, students do not grasp the nature of the covalent bond. The molecular structure is more utilized than the lattice in the academic levels analyzed. The concept of ion and ionic lattice are not easily learned by the students. In this paper we point out some reasons that could explain these facts. Then we comment on some didactic implications that could help to overcome these obstacles.

---

## INTRODUCCIÓN

El aprendizaje es un proceso mediante el cual nuevos conocimientos son asimilados dentro de la estructura conceptual del que aprende. El modelo de cambio conceptual y la perspectiva constructivista indican que el aprendizaje con comprensión real ocurre cuando el que aprende construye y transforma activamente sus propios significados, y no cuando adquiere y acumula pasivamente conocimientos que se le transmiten (Driver et al., 1994; Posner et al., 1982). De esta forma, el aprendizaje envuelve una construcción personal y una negociación social de los significados entre los miembros de la comunidad (Cobb, 1990; Shepardson, 1996).

Ausubel, Novak y Hanesian (1983) indican que el conocimiento es estructurado en forma de red específica de conceptos. Distinguen entre aprendizaje rutinario (me-

morístico) y aprendizaje significativo. Este último se produce cuando el nuevo conocimiento es relacionado por el que aprende con otros conceptos relevantes dentro de su propia estructura cognitiva. Los conceptos de mayor nivel de generalidad y poder inclusivo, que van a permitir la incorporación de nuevos conocimientos a la estructura cognitiva, son denominados *organizadores*. Vygotsky (1962) afirma que el dominio de los conceptos científicos por los sujetos promueve en ellos un aumento del nivel de los conceptos espontáneos. También indica que un concepto espontáneo debe evolucionar hasta alcanzar un determinado nivel para que el sujeto pueda adquirir un concepto científico afín.

Se han realizado trabajos con la finalidad de averiguar cuáles son las concepciones de los alumnos sobre la

estructura de la materia. Esos estudios han puesto de manifiesto la gran dificultad que tienen los estudiantes para explicar la naturaleza de las sustancias y algunos de sus cambios observables (Stavy, 1988; Bar, 1989). Los problemas aumentan cuando tienen que justificar estas transformaciones desde el punto de vista atómico (Novick y Nussbaum; 1978, 1981; Furió y Hernández, 1983, 1987; Brook et al., 1984; Nussbaum, 1985; Llorens, 1988; 1991; Gentil et al., 1989; Chastrette y Franco, 1991; Haidar y Abraham, 1991; Iglesias, et al., 1990; Abraham, et al., 1992; Griffiths y Preston, 1992; Benson, et al., 1993; Lee, et al., 1993; Lonning, 1993; Fellows, 1994; Ginns y Watters, 1995; Borse, et al., 1996; Watts y Taber, 1996). Otro aspecto que ha merecido la atención es la forma que tienen los estudiantes de representar químicamente las sustancias (Bueso, et al., 1987; Keig y Rubba, 1993).

Sin embargo, pocos trabajos han estudiado las concepciones de los estudiantes sobre el enlace químico. Peterson y otros (1989a, 1989b) evaluaron los conocimientos académicos de alumnos de 16 y 17 años de edad sobre el enlace covalente y su estructura. Algunos de los errores conceptuales encontrados fueron: *a)* El 23% de los alumnos no consideraba la influencia de la electronegatividad y la desigual compartición del par de electrones en el enlace polar. *b)* El 27% de los alumnos ven en la polaridad del enlace un factor que influye en la geometría de moléculas como  $\text{NBr}_3$  y  $\text{COCl}_2$ . *c)* Las fuerzas intermoleculares fueron confundidas con las fuerzas dentro de una molécula por un 23% de los estudiantes. *d)* El 33% consideró como fuerzas intermoleculares las existentes dentro de una red covalente.

Dumon y Merlin (1988) evaluaron los conocimientos sobre orbitales moleculares en estudiantes universitarios de ciencias químicas. Algunos de los resultados fueron: *a)* La definición de *orbital molecular* no es bien entendida. *b)* El método CLOA (combinación lineal de orbitales atómicos) parece bien recordado por los alumnos. *c)* Son comprendidas las relaciones entre función de onda y función matemática y, por otro lado, nivel de energía y estado del electrón.

Caamaño y Casassas (1987) encontraron que: *a)* La mitad de los estudiantes de 16 años no reconocía como elementos sustancias simples formadas por moléculas. *b)* Un 40% de los estudiantes identificó como moléculas estructuras gigantes. *c)* Un elevado porcentaje asoció la valencia de un elemento con el subíndice del elemento con el que se combina; sin duda, influidos por el método con el que se les ha enseñado a formular. *c)* La mayoría de los alumnos no sabía calcular el número de enlaces que se rompen y se forman en una reacción química.

De Posada (1993a) pasó un cuestionario abierto en el que una de las cuestiones requería de los estudiantes de 15 a 17 años de edad razonar sobre las causas que originan las diferencias en los puntos de fusión de las sustancias. Los alumnos de 2º de BUP (15 años de edad), antes de abordar formalmente los estudios de química pero con

nociones previas sobre el enlace químico, daban fundamentalmente razones macroscópicas como la naturaleza o composición del material, densidad, calor específico, etc. Sólo el 10% aducía explicaciones relacionadas con los átomos y tan sólo el 1% hacía referencia a la fuerza con que se atraen éstos entre sí; los restantes mencionaban la disposición de los átomos y la composición molecular. El 61% de los alumnos de 3º de BUP (16 años) y el 85% de COU (17 años) hacían referencia casi exclusivamente al enlace químico en sus argumentaciones atómicas. Boo (1998) indica que los estudiantes de química de 17 años de edad encuentran grandes dificultades para relacionar los cambios energéticos de las reacciones químicas con los enlaces rotos y formados. También menciona las dificultades de los estudiantes para distinguir entre los diferentes tipos de enlaces.

La unidad del enlace químico es introducida en los nuevos currículos de los alumnos de 14 a 15 años de la secundaria obligatoria y posteriormente es profundizada en el bachillerato científico o tecnológico (alumnos de 16-17 años). Para numerosos investigadores, este concepto es considerado crucial dentro de la química (Benfey, 1965; Allinger, et al., 1979; Paoloni, 1979; Langmuir 1921, recogido en Jensen, 1984; Solbes y Vilches, 1991; Pauling, 1992; entre otros). Podría ser catalogado como *concepto estructurante* según la terminología epistemológica de Gagliardi y Giordan (1986). Si esta hipótesis es correcta –todo parece indicarlo–, sería necesario un adecuado conocimiento de la estructura de la materia y del enlace químico para desarrollar con éxito otras partes de la química o incluso de la biología (Lawson, et al., 1993; Mondelo, et al., 1994). Una vez aceptadas estas premisas, la cuestión podría formularse en términos más próximos a la psicología cognitiva de la siguiente forma: ¿se está consiguiendo en los alumnos aprendizaje significativo con la unidad del enlace químico?

## OBJETIVOS

En nuestra opinión, el conocimiento de los alumnos de carácter más personal relacionado con el enlace químico no ha sido suficientemente estudiado aún. Se hace necesario analizar, en relación con el que aprende, los siguientes aspectos, antes, durante y después de haber sido expuestos con métodos de la enseñanza tradicional:

- Concepciones más características de los alumnos con relación a las sustancias moleculares.
- Concepciones típicas de los alumnos en relación con las sustancias iónicas.
- ¿Qué uso hacen los estudiantes de la teoría de enlace para interpretar fórmulas químicas simples que encuentran en sus textos y explicaciones en clase?

Del análisis anterior se pueden realizar las siguientes inferencias de índole psicopedagógica:

Tabla I  
Área conceptual.

1. Concepción atómica de la materia
2. Concepto de átomo, ion y/o molécula en cada caso
3. Estabilidad/inestabilidad de los átomos, iones y/o moléculas
4. Naturaleza del enlace covalente apolar y/o polar
5. Estructura de ciertas moléculas
6. Estructura interna de los gases
7. Estructura interna de un compuesto cristalino
8. Estructura interna de un metal
9. Relación entre enlace químico y tipo de estructura interna
10. Relación entre fórmula química y estructura interna
11. Fuerza entre iones en sólidos iónicos
12. Estabilidad de las redes metálicas
13. Fuerzas intermoleculares en compuestos con enlace covalente polar
14. Fuerzas intermoleculares en compuestos con enlace covalente apolar

– La naturaleza de las principales concepciones que traen consigo antes de comenzar el estudio formal de esta materia.

– El modo en que son interiorizados los nuevos conceptos y cómo se organizan en la mente de los estudiantes.

– Qué conceptos básicos son difíciles de asimilar y qué causas pueden existir para ello.

– La evolución que sufren las posibles concepciones alternativas de los alumnos en la fase 15 a 17 años.

– Realizar algunos contrastes entre la evolución de las concepciones de los alumnos y el análisis de libros de texto de los cuales obtener información para analizar el proceso de enseñanza-aprendizaje en relación con los tópicos abordados.

### METODOLOGÍA

Hemos utilizado, en este estudio, cuestionarios y grabaciones de situaciones de clase. Serán discutidas de forma separada. La naturaleza de este estudio es exploratoria (Taylor y Bogdan, 1986); por consiguiente, el método de recolección de datos es inductivo y el análisis de los mismo es semicualitativo e inductivo-deductivo.

### Cuestionario

El cuestionario para alumnos fue confeccionado siguiendo un protocolo (De Posada, 1997). Construimos un mapa conceptual (Novak y Gowin, 1984) que contenía los conceptos más importantes que los alumnos de 2º de BUP (15 años) a COU (17 años) debían tener sobre la naturaleza de las sustancias moleculares e iónicas. Del mapa conceptual obtuvimos frases que se refieren a áreas conceptuales (Tabla I). Posteriormente confeccionamos sobre estas áreas numerosas cuestiones de carácter

Tabla II  
Categorías de actividades científicas (APU, 1984).

1. Uso de gráficos y representaciones simbólicas	1.1. Lectura de información de gráficos, tablas, mapas y figuras simbólicas
	1.2. Representar información en forma de gráficos, tablas, mapas y figuras simbólicas
2. Uso de aparatos e instrumentos de medida	2.1. Uso de instrumentos de medida
	2.2. Estimación de cantidades físicas
	2.3. Seguimiento de instrucciones en trabajos prácticos
3. Observación	3.1. Realizar e interpretar observaciones
4. Interpretación y aplicación	4.1. Interpretación de observación presentada
	4.2. Aplicación de conceptos
5. Planificación de investigaciones	5.1. Planificación de parte de la investigación
	5.2. Planificación total de la investigación
6. Ejecución de investigaciones	6.1. Ejecución total de la investigación

ter totalmente abierto que solicitaban de los alumnos respuestas escritas y dibujos. Se realizó un pretest con estas cuestiones aplicándolas a pequeños grupos de alumnos para comprobar si eran satisfactorias o no. Era importante que los estudiantes supieran qué se les estaba preguntando, lo cual no implicaba necesariamente que los alumnos supieran las respuestas. Esta fase nos ayudó a corregir errores y desechar algunas cuestiones. Presentamos en este trabajo tres cuestiones relacionadas con la naturaleza de las sustancias moleculares e iónicas (Anexo).

De acuerdo con Novak (1977), el aprendizaje significativo tiene ventajas sobre el aprendizaje rutinario. La retención de la información perdura por más tiempo y pueden producirse intensos cambios que continúan vigentes incluso después de que hayan sido olvidados detalles concretos. Para Donn (1989), los que aprenden de forma significativa responden a problemas nuevos autocuestionándose, relacionando y elaborando ideas. Por el contrario, los que aprenden de forma rutinaria responden exponiendo definiciones, sin poder extrapolar sus concepciones. Como no nos interesaban las respuestas rutinarias y sí el conocimiento aprendido significativamente, decidimos pasar el cuestionario a los estudiantes entre uno y dos meses después de haber sido abordado el tema de enlace químico en el currículo. Este tiempo es superior al de otras investigaciones anteriores (Cavallo y Schafer, 1994; Garnett y Treagust, 1992). Con la finalidad de inhibir respuestas rutinarias, dos de las cuestiones desarrolladas no eran del mismo tipo que las utilizadas en las clases habituales para evaluar el conocimiento académico.

Numerosos investigadores han puesto de manifiesto que las concepciones de los alumnos son altamente dependientes de las tareas planteadas (Piaget, 1972; Driver y Erickson, 1983; Stavy, 1988; Driver, 1988; Song y Black, 1991; entre otros). Cuestiones que aparentemente son parecidas, para los investigadores, son contempladas de forma muy diferente por los estudiantes, por lo que se hace necesaria la identificación cuidadosa del perfil de las mismas. Conviene distinguir, al menos, tres dimensiones:

– Identificación del área conceptual evaluado a través de la cuestión (Tabla I).

– Procesos científicos envueltos en la tarea (Tabla II). Utilizaremos las categorías de actividades científicas (APU, Assessment of Performance Unit, 1984), aunque somos conscientes de que ello no constituye una taxonomía pormenorizada.

– Contexto (abstracto o concreto) en el que es colocada la cuestión. Una situación concreta es aquella en la que los conceptos son aplicados a objetos del mundo real y es percibida así por los estudiantes. En la situación abstracta, por el contrario, se aplican conceptos sin relación a objetos reales.

Al tener en cuenta estas tres dimensiones para cada cuestión, obtenemos el perfil que se recoge en la tabla III. Las dos primeras pueden ser calificadas propiamente como cuestiones, pero la tercera constituye más bien un problema a resolver por la gran cantidad de esquemas implicados y el número de decisiones que han de tomar nuestros alumnos al intentar imaginar la estructura de las sustancias en las ecuaciones químicas planteadas.

El uso de dibujos en proyectos de investigación constituye un método válido para llegar a descubrir las concepciones de los alumnos. Para algunos investigadores, los niños no intentan reflejar la realidad tal como la ven sino que realizan su propia transcripción simbólica (Detienne, en Giordan y Vecchi, 1988). Ya en la adolescencia intentan acercarse más a la realidad. Esta técnica puede convertirse en una herramienta que supla las dificultades lingüísticas de algunos alumnos en un intento de exponer sus propias concepciones, en especial relacionadas con la naturaleza de la materia (De Vos y Verdonk, 1996).

Las técnicas cualitativas producen un gran volumen de datos, a veces bastante dispersos. El método de análisis cualitativo propuesto por Bliss, Monk y Ogborn, (1983) hace uso de redes semánticas y resulta de gran ayuda en

Tabla III  
Descripción del perfil de cada una de las cuestiones.

Cuestión	Actividad científica (Tabla II)	Área conceptual (Tabla I)	Contexto
1	1.2 4.2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 14.	Concreto
2	1.1 4.2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 14.	Abstracto
3	1.1 1.2 4.1 4.2	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14.	Abstracto

el análisis de las respuestas escritas y dibujos obtenidos de los estudiantes.

### Grabaciones de situaciones de clase

Éste fue otro de los métodos utilizados en este estudio. Posteriormente las grabaciones fueron transcritas al papel. En el paradigma de investigación naturalista es común comparar informaciones obtenidas de dos o más procedimientos. Las informaciones obtenidas con las grabaciones de situaciones de clase prestaron apoyo a las producidas por el cuestionario, permitiéndonos realizar la triangulación metodológica. De acuerdo con Guba (1983) y Guerrero (1991), la triangulación metodológica es un criterio de cientificidad en las investigaciones naturalistas.

## MUESTRA

### Cuestionario

La cuestión número 1 fue aplicada en seis institutos, dos en Málaga capital y cuatro de su provincia. La muestra estaba constituida por 175 alumnos distribuidos de la siguiente forma: 61 de 2º de BUP, 70 de 3º de BUP y 44 de COU. La cuestión número 2 fue completada por alumnos de tres institutos, dos de la capital y uno de su provincia. Fueron encuestados 43 estudiantes de 2º de BUP y 32 de COU. La cuestión número 3 fue pasada en cuatro institutos. La muestra estaba formada por 31 alumnos de 2º de BUP, 28 de 3º y 32 de COU. Los estudiantes de 2º y 3º de BUP cursaban la asignatura de Física y Química, los de COU tenían la opción química. En 2º de BUP aún no se había comenzado el estudio de la química. En 3º y COU se pasó el cuestionario entre uno a dos meses después de haber terminado el tema de enlace químico. No se realizó selección ni de alumnos ni de clases dentro de los institutos.

### Secuencia de enseñanza

El currículo español presenta el tema de enlace químico en los niveles, aún vigentes, de 2º de BUP, 3º de BUP y COU, y en los nuevos niveles de 3º y 4º de ESO (14 y 15 años) y 1º y 2º de bachillerato (16 y 17 años), en período de implantación. Se enseña este tema en cada uno de los cursos pero con diferentes grados de profundidad siguiendo un modelo en espiral. Los libros de texto básicos presentan el siguiente contenido genérico para el enlace covalente: presentación de la teoría de Lewis, exposición de las propiedades de bajo punto de fusión y no conductividad de la corriente eléctrica. Para el enlace iónico se presenta la teoría de Lewis, nociones de red cristalina, y se exponen las propiedades de: punto de fusión elevado y conductividad eléctrica tanto en estado fundido como disuelto en agua. Son muy pocos los libros de este nivel que introducen las fuerzas intermoleculares (de Van der Waals o enlace de hidrógeno). En los textos de nivel intermedio se exponen además nociones sobre

el enlace covalente coordinado. Se presentan las mismas propiedades físicas expuestas en el año anterior pero ahora son interpretadas y justificadas. Algunos textos introducen nociones de la teoría de los enlaces de valencia. Con el enlace iónico, algunos comienzan a presentar el ciclo de Born-Haber, número de coordinación, e interpretan las propiedades físicas de punto de fusión elevado y conductividad eléctrica de los compuestos tanto fundidos como disueltos en agua. Prácticamente todos los textos de este nivel presentan las fuerzas de Van der Waals y, algunos, los enlaces de hidrógeno. En el nivel superior se suele exponer, además de lo dado anteriormente, la teoría de enlace de valencia o de orbitales moleculares, orbitales híbridos, geometría molecular, polaridad de los enlaces y se justifican las propiedades físicas de punto de fusión, punto de ebullición y solubilidad haciendo uso de las fuerzas intermoleculares. Casi todos los textos de este nivel presentan la energía reticular y el ciclo de Born-Haber. Se justifican, además de las propiedades físicas expuestas en otros años, la dureza y la fragilidad. Todos los textos exponen las fuerzas intermoleculares de Van der Waals y el enlace de hidrógeno.

### Grabaciones de clase

Grabamos quince horas relacionadas con el enlace químico en dos grupos de 3º de BUP. Como material impreso de trabajo en clase se utilizaron los programaguías de Cendejas y otros (1988) basados en las líneas didácticas desarrolladas por Gil y Martínez-Torregrosa (1987). Básicamente la enseñanza consistía en extraer concepciones alternativas acerca de la materia y su estructura, y ofrecer oportunidades de discusión en pequeños grupos de 5 ó 6 individuos en los que tenían total libertad para exponer sus ideas y reconducir las discusiones hacia posiciones científicas. Los alumnos debían planificar, escribir sus resultados y explicar esas ideas al resto de la clase; el profesor actuaba como moderador, animador y director de las tareas y debates. El profesor-investigador siguió una metodología típica de investigación en la acción durante todo el curso académico (Elliott, 1984; McDonald, 1984). Nuestro objetivo con las grabaciones fue recoger un conjunto de formulaciones de los alumnos, analizar cuáles eran las concepciones subyacentes, con qué otros conceptos se relacionaban, cómo evolucionaban estas concepciones en contextos de aprendizaje, qué obstáculos encontraban los alumnos para asimilar los conceptos, etc. Por estos motivos, no tenía objeto realizar grabaciones de clases expositivas donde el alumno rara vez manifestaba sus concepciones o lo hacía con timidez. Por el contrario, debían ser ricas en interacciones entre los alumnos y de éstos con el profesor.

## COMENTARIO DE LOS RESULTADOS EN RELACIÓN CON LAS SUSTANCIAS MOLECULARES

Hemos clasificado los dibujos obtenidos de la cuestión 1 (Anexo) en la red semántica de la figura 1 siguiendo las

indicaciones de Bliss y otros (1983). Las llaves en la figura indican que puede realizarse una selección con todos los términos que siguen a su derecha. Las líneas verticales presentan términos que son mutuamente excluyentes. Las categorías principales se encuentran a la izquierda y las subcategorías a la derecha. Los términos, llaves y líneas utilizados en las redes semánticas fueron sugeridos por los datos obtenidos.

La mitad de los alumnos de 2º de BUP representaron los átomos, en fase gaseosa, por círculos localizados a una cierta distancia unos de otros. E incluso algunos colocaron flechas en todas las direcciones para indicar un movimiento desordenado de las partículas. Esta proporción coincide con la obtenida en estudiantes ingleses de la misma edad (Brook et al., 1984) a pesar de ser diferente la cuestión y el contexto en que se suscitó. Casi un 20% de los alumnos de este nivel dibujó los átomos juntos unos a otros sin dejar espacio entre ellos, presentando una visión continua de la materia. Esta proporción coincide con la obtenida por Furió y Hernández (1983)

en alumnos valencianos del mismo nivel. Estos valores coincidentes son prueba de la existencia de estas concepciones, su distribución y estabilidad en la población escolarizada de estas edades.

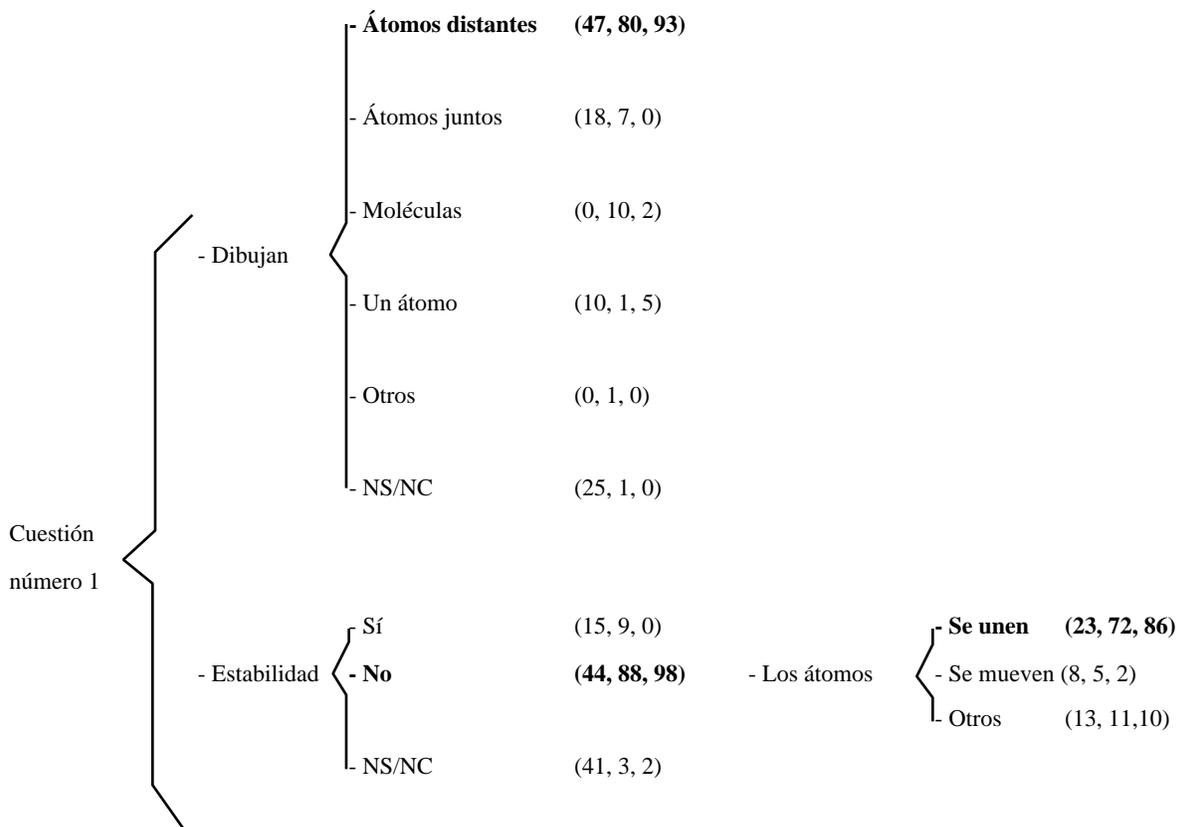
Casi el 80% de los alumnos de 3º de BUP de la muestra estudiada y el 93% de los de COU son capaces de representar correctamente los átomos de oxígeno. La influencia de la idea de que la materia es continua en los gases cae drásticamente en estos dos últimos niveles.

*1. ¿Por qué se unen los átomos para formar moléculas?*

Algunos alumnos de 2º (15%) y 3º de BUP (9%) opinan que los átomos de oxígeno son estables y, por tanto, no se unen para formar moléculas (Fig. 1). Para ellos, la causa de esta estabilidad es la inmovilidad de los átomos. Casi la mitad de los alumnos de 2º de BUP encuestados opinan que estos hipotéticos átomos no son estables. Las razones son tan variadas que hemos llegado a computar hasta once tipos de respuestas entre los tres niveles. El

Figura 1

Red semántica construida a partir de las respuestas de los alumnos en relación con la estructura interna de los gases y la estabilidad de los átomos individuales (cuestión 1). Las cifras se refieren a las frecuencias relativas en 2º de BUP, 3º de BUP y COU respectivamente. En negrita las respuestas correctas.



argumento más utilizado fue la necesidad de unirse los átomos inestables para formar moléculas más estables, casi siempre de dos átomos; su proporción varió de un 23% en 2º de BUP pasando por un 72% en 3º hasta llegar al 86% en COU (Fig. 1). Del análisis de estos datos se desprende que el sistema educativo consigue transmitir una imagen molecular del oxígeno a través del currículo. Sin embargo, tal como se pondrá de manifiesto con la cuestión número 2 y las grabaciones de situaciones de clase, la transmisión de la imagen molecular no lleva consigo un buen conocimiento de la naturaleza del enlace químico ni de las fuerzas intermoleculares. Otro argumento, mucho menos utilizado para justificar la inestabilidad de los átomos, introduce concepciones de la mecánica macroscópica en el mundo microscópico. Los gases son considerados inestables comparados con los sólidos porque sus átomos o moléculas están en continuo movimiento y, por tanto, no se encuentran quietos o «estables»: «No serán estables porque es un gas.» (Alumno 2º de BUP).

Los estudiantes de 3º de BUP y COU con esta opinión son capaces de exponer de forma más elaborada los argumentos que sus compañeros de 2º de BUP: «No son estables, pues los átomos en los gases están en movimiento y éste aumenta o disminuye si se le cambian las condiciones ambientales sufriendo modificaciones de volumen y velocidad. Esto demuestra que no son estables.» (Alumno de 3º de BUP). «No serán estables porque es un gas y los gases nunca están estables sino que están siempre en continuo movimiento.» (Alumno de COU). La incidencia de este esquema disminuye del 13% en 2º de BUP al 2% en COU. Algunos estudiantes aún no han asumido la idea de conservación de las partículas y espontáneamente la contradicen para explicar fenómenos corrientes: «No son estables porque, si se calienta, aumenta el número de átomos pudiendo llegar a estallar.» (el recipiente) (Alumno de 3º de BUP). Los restantes argumentos para explicar la inestabilidad del conjunto de átomos de oxígeno son demasiado individuales para ser descritos aquí.

## 2. Naturaleza del enlace covalente

Desarrollamos la cuestión 2 (Anexo) para profundizar en las concepciones de los alumnos sobre la naturaleza de la unión entre átomos. Su perfil difiere del de la primera cuestión en que no requiere representar mediante dibujos la información, y su contexto es más abstracto (Tabla III). En la figura 2 se muestra la red semántica construida a partir de las respuestas de los alumnos. Casi la cuarta parte en 2º de BUP no contestó o no supo qué contestar. Ningún alumno de este nivel utilizó el término *enlace químico*, lo que no les impidió pasar a explicar como podían estar unidos los átomos entre sí. La idea más popular, que alcanza la tercera parte de los alumnos de 2º de BUP, es la que propone la unión debido a la atracción entre las diferentes cargas situadas en los átomos. Una opinión menos difundida es aquella que afirma que los átomos tienen un campo de atracción sobre otros átomos. La naturaleza de este campo de atracción no fue descrita. Las restantes explicaciones (la dependencia del estado de agregación, fuerzas magnéti-

cas, intercambios de partículas o uso de enganches) fueron poco comunes (Fig. 2). Esta última explicación es similar a la utilizada por el poeta y filósofo romano Lucrecio en el año 55 aC. Según éste, cuando ciertos átomos colisionan, «no se separan más, quedando entrelazados en estrecha unión y permaneciendo así debido al trabado que producen sus propias formas» (traducción nuestra, p. 210, en Bailar, et al., 1989). En COU tres estudiantes de cada cuatro mencionaron el enlace covalente. Éstos no sintieron la necesidad de explicar la naturaleza de este enlace; hecho también puesto en evidencia en grabaciones de situaciones de clase que trataremos a continuación. Las explicaciones intuitivas utilizadas por los alumnos de nivel más bajo desaparecen al llegar a COU.

Los textos suelen abordar la unión entre átomos de parecida polaridad haciendo uso de la compartición de electrones (De Posada, 1993b). Este concepto no parece ser asumido por los alumnos, ya que no lo utilizan en sus explicaciones algún tiempo después de haber sido estudiado. Las dificultades se remontan al momento en el que son aprendidos; en la transcripción siguiente se aprecian algunos problemas de conceptualización. El profesor intentó que las ideas de los alumnos fueran evolucionando desde posiciones convencionales hasta otras más elaboradas.

(112) A1: *La pregunta del cuaderno dice: «¿Cómo están unidos los átomos formando moléculas?» Hemos puesto que mediante enlace.*

(113) P.: *¿En qué consiste el enlace?*

(114) A1: *Un enlace es la unión de dos o más sustancias, que comparten sus partículas, una la cede y la otra la acepta o la comparte entre sí.*

(115) P.: *¿Qué es lo que comparten?*

(116) A1: *Electrones.*

(117) P.: *Veamos lo que opina el grupo 2.*

(118) A2: *Por enlace químico.*

El alumno A1 es repetidor. Aunque de forma inconexa, recuerda algunas ideas sobre el tema impartido el año anterior (3). Los términos son mal utilizados, aparentemente de forma consciente (5). El profesor pretende averiguar qué es lo que entienden exactamente los alumnos por *enlace* y, por ello, requiere que sean más explícitas sus respuestas (6, 8, 10, 12, 15).

(119) P.: *Es fácil enmascarar lo que ocurre poniendo una determinada palabra en su lugar. Por ejemplo, si yo no sé exactamente lo que ocurre diré que es un enlace químico. Alguien que conozca el tema creará que lo entiendo bien. Vamos a intentar explicarlo en profundidad. ¿Qué es eso del enlace químico? ¿En qué consiste? ¿Cómo lo entiendes tú?*

(120) A3: *Cada átomo tiene una forma de enlazarse entre ellos y a esto se le llama enlace químico.*

(121) P.: *Aún no queda claro cómo se enlazan. Vamos a ver si se aclara más.*

(122) A2: *Una manera de que dos átomos se puedan unir.*

(123) P.: *¿Qué opina el grupo 3?*

(124) A3: *La atracción de protones y electrones por tener diferente carga.*

(125) A4: *Al tener diferente carga el núcleo del átomo.*

(126) P.: *¿Qué propone el grupo 4?*

(127) A5: *Lo que no entendemos es cómo se puede formar ese enlace. Si la corteza de un átomo tiene los electrones negativos y la otra corteza tiene también los electrones negativos, entonces no se podría formar el enlace.*

(128) P.: *Buena pregunta.*

Al principio todo parecía estar explicado por la existencia del enlace químico (1, 7). Si se quita a los alumnos la posibilidad de utilizar esta palabra (8) y tienen que buscar explicación a las uniones entre los átomos, tendrán que usar sus propias concepciones (9, 13). Hasta este momento no se habían planteado realmente la naturaleza del enlace, sólo utilizaban una palabra para enmascararla.

(129) A4: *Cada átomo tiene un núcleo con carga positiva y electrones en la corteza con carga negativa; entonces, los electrones de un átomo se irían con los protones del otro átomo.*

(130) P.: *¿A qué te refieres cuando dices que se irían?*

(131) A4: *Al ser de distinta carga, positiva el núcleo y negativa los electrones, se atraen.*

(132) P.: *¿Es lo mismo decir que se atraen que se irían?*

(133) A4: *No.*

(134) A5: *(Pide permiso para ir a la pizarra y dibuja) Éstos son dos átomos. Entonces, si la corteza, la última parte del átomo es negativa y el otro también es igual, en vez de unirse lo que hacen es repelerse.*

(135) P.: *Dibuja unas flechas para indicarlo.*

(136) A2: *Un átomo puede estar cargado positivamente y, a la vez, seguir siendo un átomo.*

(137) A1: *Tenemos una nueva definición para el enlace. Dos átomos en los cuales se ceden, aceptan o comparten entre sí los electrones de su última capa, para tener un total de ocho electrones en su última capa cada uno.*

(138) A3: *¿Por qué se comparten, por qué ceden?*

(139) A1: *Como vimos antes en la fabricación de la tabla, la última capa de todos los átomos tiene ocho electrones.*

(140) P.: *El cloro tiene siete, el sodio uno y los gases nobles ocho, excepto el helio que tiene dos.*

(141) A1: *Por eso realizan enlace.*

(142) A6: *Si los metales tienen pocos electrones en su última capa y se unen a otros elementos con muchos en su última capa, pueden saltar electrones para ganar estabilidad.*

(143) P.: *Según el grupo cinco, los átomos se combinarán y el enlace químico será un reajuste de electrones, un toma y un da, para que los átomos tengan la estructura electrónica parecida a la de un gas noble; es decir, ocho electrones en la última capa.*

(144) A6: *¿Por qué ocho electrones?*

El hecho de aplicar concepciones de la electrostática al átomo parece llevar a A5 a un callejón sin salida (25), que es aprovechado por A1 para retomar la dirección de la discusión hacia posiciones más convencionales (26), eludiendo el razonamiento divergente al que quiere someterlo el profesor. Pretende para ello aplicar reglas relativamente sencillas sin preocuparse demasiado del por qué (26). En cambio, A6 no parece dispuesto a aceptar acríticamente esas reglas (33). Todo parece indicar que el alumno A1 realiza aprendizaje rutinario, rehuye construir relaciones entre conceptos, informaciones e ideas, intentando aprender hechos de forma rutinaria, aislados unos de otros (Novak, 1988; Cavallo y Schafer, 1994; Cavallo, 1996). Los libros de texto, y presumiblemente las explicaciones de los profesores en clase, promueven en gran medida este tipo de actitud en los alumnos (De Posada, 1994).

### 3. Fuerzas intermoleculares

Más de la mitad de los alumnos de 2º de BUP no contestaron o no supieron qué contestar a la pregunta de cómo se encuentran relacionadas las moléculas de flúor entre sí (2a. parte de la cuestión 2); les resultó mucho más complicada que la primera parte (Fig. 2). Algunos estudiantes de 2º de BUP opinan que el campo de atracción de los átomos sigue activo y actúa sobre otros átomos en las inmediaciones. Otros lo explican con la atracción entre las moléculas debido a las diferentes cargas situadas en ellas. Un pequeño grupo afirma que no se unen unas moléculas con otras y no entra en más detalles. En COU un estudiante de cada cuatro asegura que existen fuerzas de Van der Waals. La mitad de los alumnos encuestados de este último nivel proponen enlaces, la mitad afirma que covalentes, entre las moléculas y, finalmente, uno de cada seis afirma que no se unen unas moléculas a otras. Las fuerzas intermoleculares son menos utilizadas por los alumnos en sus explicaciones que el enlace covalente a pesar de estar incluidas en el currículo. Algunas razones para justificar este hecho serán comentadas en la parte final de este trabajo.

Figura 2

Red semántica construida a partir de las explicaciones de los alumnos respecto a cómo pueden estar unidos los átomos en una molécula y qué tipo de atracción tienen éstas entre sí (cuestión 2). Los valores de la primera columna se refieren a la frecuencia relativa en la muestra de 2º de BUP y los de la segunda columna a los de COU. En negrita las respuestas correctas.

Cuestión 2	}	¿Cómo pueden estar unidos los átomos?	- Diferentes cargas	(35, 0)	
			- Campo de atracción	(16, 0)	
			- Depende estado de agr.	(5, 0)	
			- Sólo dibujan	(9, 8)	
			<b>- Enlace covalente</b>	<b>(0, 75)</b>	
			- Enlace (no aclara)	(0, 17)	
			- Otros	{ <ul style="list-style-type: none"> <li>- Magnetismo</li> <li>- Enganches</li> <li>- Intercambios de partículas</li> </ul>	
			- NS/NC	(28, 0)	
	}	¿Cómo se unen las moléculas?	- Campo atracción molec.	(14, 0)	
			- No se unen	(7, 17)	
			- Cargas	(12, 0)	
			- Sólo dibujan átomos juntos	(5, 0)	
			<b>- Fuerzas de Van der W.</b>	<b>(0, 25)</b>	
			- Enlace covalente	(0, 25)	
			- Enlace (no aclara)	(0, 25)	
			- Otros	{ <ul style="list-style-type: none"> <li>- Enganches</li> <li>- Intercambio de partículas</li> <li>- Vibración</li> </ul>	
			- NS/NC	(55, 8)	

**COMENTARIOS DE LOS RESULTADOS CON RELACIÓN A LAS SUSTANCIAS IÓNICAS**

Hemos seleccionado un fragmento representativo de grabación que pone de manifiesto las dificultades de los alumnos para asimilar la naturaleza de las sustancias iónicas, en especial el concepto de *ion*. Los estudiantes realizaron, en el laboratorio, el día anterior, la mezcla de disoluciones de cloruro potásico y nitrato de plata. Como se recordará, se produce un precipitado blanco de cloruro de plata y queda en disolución incolora el nitrato

potásico. Los aspectos descriptivos del proceso eran bien conocidos por los alumnos y los conceptos teóricos habían sido presentados con anterioridad, lo que se pretendía era aplicar el concepto de *ion* en las explicaciones para dar sentido a la reacción.

(38p) P.: *¿Quién reacciona con quién?*

(39p) A6.: *El potasio con la plata.*

(40p) P.: *¿Qué opina el grupo cuatro?*

(41p) A5: *El nitrato con el potasio y el cloro con la plata.*

(42p) P.: *¿Y qué darán?*

(43p) A5: *Cloruro de plata.*

(44p) P.: *¿Qué aspecto tendrá el conjunto?*

(45p) A5: *Blanco.*

(46p) P.: *El cloruro de plata precipita y se va al fondo, pero ¿qué pasará con el nitrato potásico?*

(47p) A3: *¿Reacciona el nitrato con el potasio?*

En las explicaciones de los alumnos no aparece el concepto de *ion* (2, 4, 10), a pesar de haber sido estudiado con anterioridad.

(48p) P.: *Quedarán en disolución los iones nitrato y los iones potasio, cada uno por su lado, pero todos en disolución. ¿Proponéis una ecuación en la pizarra?*

Sale el alumno A3 a la pizarra y escribe una ecuación química.

(49p) P.: *Vamos a comentarla. Nitrato de plata que añadimos a la disolución. Éste se encuentra disuelto en agua. Podemos escribirlo así en la ecuación [ac]. El cloruro potásico también está en fase acuosa. [...] Los iones plata y iones cloruro no pueden coexistir en disolución en esas cantidades y precipitan dando el sólido cloruro de plata; a éste no le ponemos las cargas.*

(13) A2: *¿Por qué no?*

14. P.- *Si bien siguen existiendo las cargas, el conjunto está eléctricamente neutro. En cambio, los iones nitrato y potasio hay que ponerles cargas porque se encuentran en disolución [...] ¿Qué ocurrirá cuando añadamos nitrato de plata al cloruro de aluminio?*

(15) A3: *La plata reacciona con el cloro.*

El alumno A2 encuentra arbitrario que las sustancias en disolución puedan llevar la notación *ion* pero las sustancias sólidas, como el cloruro de plata, no (13). De hecho, el no poner cargas puede inducir en muchos alumnos a pensar que no existen en fase sólida. Cuando se plantea un caso similar al estudiado anteriormente (1), la tendencia de A3 es la misma que la de A5 y A6: prescinden del concepto de *ion* (15). Este fenómeno se repite en las siguientes grabaciones de clase, se recoge en la cuestión 3 y se ha observado en contextos diferentes (De Posada, 1997). No se trata de un simple descuido, falta de estudio o motivación; como veremos en el apartado de conclusiones y comentarios finales, existen razones de índole psicológica, epistemológica y didáctica que influyen decisivamente.

(16) P.: *Acaba de decir que reacciona la plata con el cloro y yo le digo que no. A ver, ¿por qué? Se trata de un no matizado.*

(17) A3: *La plata...* [Silencio en la clase].

(18) P.: *El ion plata. Recordad que el lenguaje científico es muy estricto. La plata no es lo mismo que el ion plata. Esto es fácil de ver. ¿Qué tenemos en la mancha de la mesa?*

El día anterior el profesor dejó una gota de nitrato de plata en una esquina de la mesa para que los alumnos pudieran, después de algún tiempo, examinar su ennegrecimiento.

(19) A1: *Ion.*

(20) P.: *No, ahí hay metal plata. Pero en la disolución, disolución transparente, tenemos iones plata, no es lo mismo uno que otro. El lenguaje científico recoge estas diferencias y no puede confundir la plata metal con el ion plata. Nosotros debemos hablar con propiedad y debemos decir...*

(21) A3: *Entonces, reacciona el ion plata con el ion cloro.*

(22) P.: *Ion cloruro.*

(23) A3: *Entonces, los iones aluminio reaccionan con los iones nitratos.*

(24) A1: *¿Qué diferencia hay entre átomo y ion?*

Aún no se habían impartido nociones sobre el enlace metálico, por lo que el profesor prefirió hablar de átomos de plata como componentes del metal plata (20). A nuestro juicio, estas situaciones producen graves trastornos didácticos, ya que, si bien se puede diseñar el currículo de forma secuencial para que el alumno base sus conocimientos nuevos en los anteriormente asumidos, cuestiones transversales, ya sean frecuentes o esporádicas, nos llevan a otras materias a las que hay que dar una explicación desde el conocimiento que se tiene en ese momento. Todo esto puede llegar a producir contradicciones, como en el caso ilustrado, pues se propone la existencia de átomos en la plata (20) cuando la química indica que son restos positivos con electrones libres. Las diferentes tendencias constructivistas no pueden evitar estos problemas, tan sólo confiar en que las concepciones de los alumnos maduren progresivamente (acercándose a las científicas) a medida que continúa el proceso de enseñanza. Los conceptos *ion* y *átomo* parecen muy similares para los alumnos (17, 19, 24); en cambio, ellos observan que el profesor realiza grandes esfuerzos por diferenciarlos (11, 12, 14, 16, 18, 20, 22). Aunque el concepto de *ion* ya fue tratado anteriormente en las unidades de estructura atómica y enlace iónico, A1 no alcanza a comprender la relación que existe entre sus estructuras y el comportamiento que produce (24). Esas diferencias tampoco fueron fáciles de asimilar por científicos eminentes coetáneos de Arrhenius. Relacionar los átomos con los iones, y éstos con las propiedades que provocan en el mundo macroscópico, no resulta nada evidente. Prueba de ello son los lustreros que pasaron desde la teoría atómica de Dalton hasta la teoría iónica de

Arrhenius y las fuertes reticencias planteadas por los científicos de la época para su aceptación (Galache y Camacho, 1992). El joven investigador sueco necesitó usar los siguientes argumentos y experiencias:

- Sugirió que los átomos y sus iones tienen propiedades muy diferentes entre sí.
- Determinó la carga iónica de un gran número de sustancias desarrollando los experimentos de Faraday.
- Sugirió que el color de determinados compuestos era debido a uno de los iones participantes.
- Ideó una experiencia con la que se podía apreciar las migraciones independientes de cationes y aniones.
- Comprobó que, en las reacciones entre ácidos y bases, siempre se obtiene el mismo valor de energía de neutralización por mol de agua producida independientemente de la naturaleza de los reactivos.
- Estudió reacciones de precipitación producidas por la mezcla de dos disoluciones diferentes.
- Interpretó las propiedades coligativas anómalas encontradas en los electrólitos.
- Correlacionó las propiedades de disoluciones de ácidos con el grado de ionización, calculados a partir de la conductividad eléctrica.

Pero fue el entusiasmo de Ostwald (científico famoso y muy respetado a la sazón) por la teoría de Arrhenius quien influyó en los profesores de éste, para que finalmente le otorgaran el grado de doctor (Gray y Haight, 1976). El concepto de *ion* no fue fácil de asimilar por muchos científicos de la época, a pesar de la gran cantidad de pruebas acumuladas a su favor (Masterton y Hurley, 1989).

## COMENTARIOS DE LOS RESULTADOS

### ¿Qué uso hacen de la teoría de enlace para interpretar las fórmulas químicas?

Los estudiantes son expuestos desde los 12 años de edad a fórmulas químicas simples y a otras de complejas como el proceso de la fotosíntesis. Son frecuentes las actividades en las que se pide que completen esas ecuaciones químicas (para ello deben saber qué enlaces se rompen y cuáles se forman). A veces deben asignar los estados de agregación en los que se encuentran esas sustancias en las condiciones indicadas (deberán conocer sus estructuras internas). Los profesores solemos pensar que, como ya fueron estudiadas las teorías atómica y molecular al principio de la química, en consecuencia, ya conocen estos extremos. Pero, ¿hasta qué punto utilizan las nociones de teoría de enlace para interpretar la estructura interna de las sustancias planteadas en las ecuaciones químicas? Con el objeto de analizar este

problema desarrollamos la cuestión 3 (Anexo). Para la correcta resolución de esta cuestión es necesaria la atenta lectura de la información simbólica proporcionada (fórmulas químicas, actividad científica 1.1, tabla II), establecer un gran número de relaciones proposicionales entre conceptos (áreas conceptuales, tabla III), y todo ello en un contexto abstracto para el alumno y, por tanto, sin relación con objetos reales.

Es de destacar que los alumnos de 2º de BUP, en una proporción alta, alrededor del 70%, no representaron estas sustancias típicas desde un punto de vista atómico (Fig. 3) a pesar de haber recibido nociones de química en cursos anteriores. Los que accedieron representaron cloruro potásico, nitrógeno y cloruro de hidrógeno en forma molecular y calcio en forma atómica (Fig. 3). La tercera parte de éstos dibujó las diez partículas solicitadas. Ningún alumno de este nivel utilizó la noción de *red*.

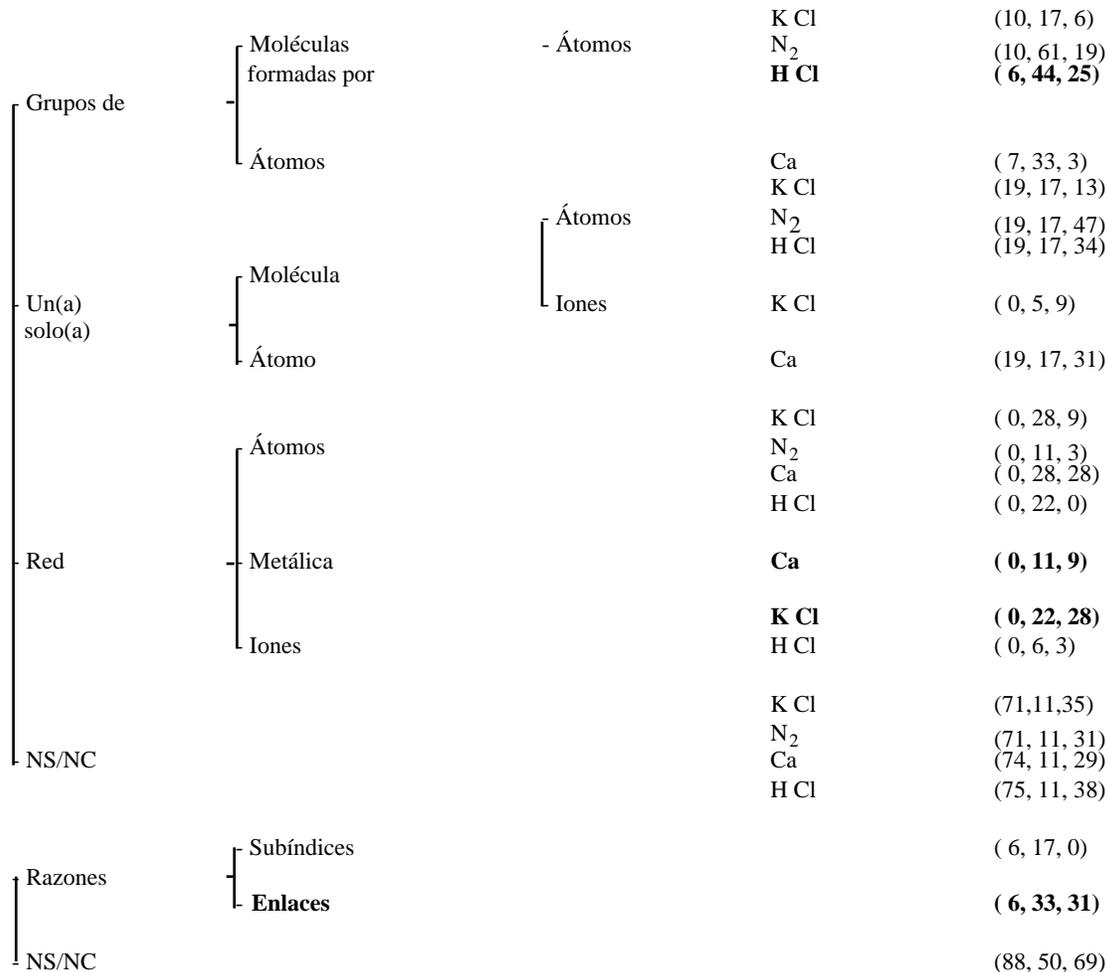
En 3º de BUP, la proporción de estudiantes que no representó las partículas solicitadas disminuyó al 11%. 7 de cada 9 dibujaron la molécula de nitrógeno y la mayoría de ellos representó correctamente el grupo de diez partículas indicando que se encontraban en fase gaseosa. El cloruro de hidrógeno fue dibujado en forma molecular por el 61% de los alumnos de este nivel y el cloruro potásico por el 3% (Fig. 3). Algo más de la mitad representó el cloruro potásico en forma de red. De ellos, algo más de la mitad utilizó, en sus explicaciones, átomos y los restantes iones. El 39% de los alumnos encuestados representó el calcio en forma de red; la mayoría de ellos dibujaron átomos y no restos positivos con nubes electrónicas.

En COU, alrededor del 30% de los alumnos no representó las partículas solicitadas, manifestando que hacía mucho tiempo que dieron esta materia y no la recordaban bien. Estas deficiencias inevitablemente les acarrea graves problemas de comprensión de otras partes de la química y de la biología. Aproximadamente el 66% de los alumnos de este nivel representó nitrógeno y cloruro de hidrógeno en forma molecular. El 28% de los alumnos dibujó moléculas de cloruro de potasio, a pesar de indicar sus iones en algunos casos. El 37% reprodujo una red para el cloruro de potasio, la tercera parte de éstos dibujaron átomos y los restantes iones. El 37% de los alumnos dibujó una red al referirse al calcio, la mayoría formada por átomos; otros dibujaron átomos con electrones circulando alrededor del conjunto. De estos resultados podemos inferir que los conceptos de *red* y *ion* han sido poco asumidos por los alumnos de bachillerato. Se constata que existe una gran persistencia en la noción de *molécula* que les lleva a aplicarla a las estructuras cristalinas.

Aunque solicitábamos de los alumnos que justificasen las respuestas que daban, fueron pocos en sus explicaciones (Fig. 3). Las respuestas eran de dos tipos: unas hacían referencias a los subíndices que aparecen en las fórmulas y otras a los tipos de enlaces que pueden tener los compuestos concretos. La primera tendencia disminuye en favor de la segunda; sin embargo, sólo la tercera

Figura 3

Red semántica construida a partir de los dibujos y explicaciones dadas por los alumnos para justificar la estructura interna de varias sustancias (cuestión 3). La primera columna se refiere a la frecuencia relativa en 2º de BUP, la segunda a 3º de BUP y la última a COU. En negrita las respuestas correctas.



parte de los estudiantes de COU menciona ésta, lo que nos indica que existe una gran deficiencia en el proceso de razonamiento deductivo así como un aprendizaje rutinario con relación a los tópicos estudiados en gran parte de nuestros alumnos.

En la grabación siguiente se abordan errores comunes cometidos para inferir el tipo de estructura interna y se analizan las causas por las que surgen. Se ponen de manifiesto las deficiencias en el uso de métodos deductivos, en parte debido al uso de métodos de análisis simplistas

(1) P.: *El cloro, como sabéis, se encuentra en el grupo 7; por tanto, ¿qué carga puede llegar a tener el cloro? ¿Qué carga puede tomar?*

(2) A.: [Silencio]

(3) P.: *¿Lo sabe alguien?*

(4) A1: *Carga negativa.*

(5) P.: *Una carga negativa. Tiene siete electrones en su última capa y toma uno; tendría ocho y ya tendría la capa completa. Cada cloro sería capaz de tomar un electrón. Pero daros cuenta de que el otro [calcio] ha perdido dos electrones, ¿cuántos cloros tiene que haber allí para captar los electrones del calcio?*

(6) A1: *Dos.*

(7) P.: *Tiene que haber dos cloros, cada uno retira un electrón.*

(8) A2: *¿Dos átomos sueltos o dos átomos juntos?*

(9) P.: *Dos átomos sueltos.*

(10) A2: *Entonces, en la fórmula, serían dos átomos sueltos.*

En la fórmula del cloruro de calcio aparece el subíndice dos debajo del cloro. Esto es interpretado por el alumno A2 como cloro molecular por analogía con  $\text{Cl}_2$ , de ahí su pregunta (8, 10). Este error está bastante generalizado en los alumnos.

(11) P.: *En la fórmula hay un ion calcio con dos cargas positivas porque ha perdido dos electrones y dos iones cloruros con una carga negativa cada uno, pero no están unidos entre sí. ¿Cómo escribimos la fórmula?*

(12) P.: [Silencio]. *En la fórmula decimos hay un ion calcio, no escribimos nada encima, y hay dos iones cloruros, pero esto no significa que el cloruro esté unido al cloruro y, a su vez, unido al ion calcio, sino que en el cómputo general hay dos cloruros por cada ion calcio, en esa proporción.*

(13) A2: *En la fórmula pasa de ser átomos a una molécula.*

A pesar de haber estudiado otros casos similares anteriormente, la fórmula obtenida hace pensar a los alumnos que se trata de una sustancia molecular (13). El término *ion* es sustituido por el alumno A2 por la palabra *átomo* (13). Esta confusión ya fue tratada en el apartado anterior.

(14) P.: *Realmente estos compuestos, caracterizados por tener iones, no forman moléculas. Si recuerdas la estructura de las sustancias iónicas, estaban alternándose los cationes y los aniones. Así no forman moléculas. No podemos decir que estos dos iones de colores negro y blanco en el dibujo [del programa-guía] formen una molécula independientemente de las demás, porque no son independientes. Estos dos no son una estructura determinada e independiente de otras que están a su lado. ¿Está claro? ¿Las sustancias iónicas forman moléculas o no forman moléculas en general?*

(15) A3: *¿Qué son iónicas?*

(16) P.: *Las que están formadas por iones.*

(17) A1: [Silencio].

(18) P.: *No forman moléculas, forman redes en las que los cationes y aniones están distribuidos alternadamente por todo ese espacio. Por tanto, no podemos hablar de moléculas. Podemos hablar de una estructura formada por miles de billones de aniones y miles de billones de cationes. Claro, aquí no vamos a poner diez elevado a veintitrés y dos por diez elevado a veintitrés. Este número cambiaría con la cantidad de sustancia que tengamos en cada caso.*

(19) A2: *¿Qué significado tienen estos números que aparecen en las fórmulas de sustancias iónicas?*

(20) P.: *Primero, que no forman moléculas, aunque puedan confundir a personas que empiezan a ver esta materia como vosotros. Os puede inducir a pensar que aquí hay moléculas y no es verdad. No hay moléculas sino redes cristalinas. Lo que nos indica es por cada catión calcio cuántos iones cloruro hay.*

(21) A2: *El aspecto de ambas fórmulas es el mismo. (Se refiere al de las sustancias moleculares y iónicas.)*

(22) P.: *La forma de representar es la misma. Es una limitación de la representación. Lo que ocurre es que el químico que está habituado sabe perfectamente que esto no son moléculas. Una sustancia formada por aniones y cationes forma estructuras cristalinas. Por eso es mejor que os habituéis a llamarlas fórmulas y no moléculas, porque os equivocaréis muchas veces al llamar molécula a una sustancia que no forma estructuras moleculares, sino red cristalina.*

Ante la necesidad de usar el concepto de *ion* (14, 16) se pone de manifiesto nuevamente la falta de asimilación de este concepto por A3 (15). A2 queda desorientado al comprobar que el aspecto de las fórmulas de sustancias moleculares y iónicas es el mismo y, sin embargo, sus estructuras internas son completamente diferentes (21). El subíndice en la fórmula de un compuesto molecular no tiene el mismo significado que en la fórmula de un compuesto iónico.

## CONCLUSIONES

Es de destacar el aumento progresivo, en los alumnos de 15 a 18 años, estudiantes de química, del esquema que utiliza un sistema de partículas discretas para los gases. Algunos estudiantes aplican nociones claramente macroscópicas al mundo atómico. El número de casos podría ser mayor al reflejado aquí, pues sólo recogimos aquéllos que de forma espontánea así lo manifestaron. Esas ideas procedentes del mundo macroscópico guían sus predicciones llevándoles a resultados incorrectos. Esta tendencia disminuye a medida que aumenta el nivel de estudio de química.

Aunque se consigue introducir, a través del currículo, la idea de que ciertas sustancias gaseosas son moleculares, la naturaleza de la unión no es bien comprendida. Los alumnos que aún no han comenzado la enseñanza formal de la química creen que existen fuerzas atractivas electrostáticas, o de otra naturaleza no descrita, capaces de acercar los átomos en el enlace. Para los estudiantes mayores, la unión es debida al enlace covalente; sin embargo, no entran en detalles sobre la naturaleza de este enlace. Este hecho se puso de manifiesto también en las grabaciones de situaciones de clase. La naturaleza del enlace covalente no es bien entendida por la mayoría de los alumnos después de haber sido abordado durante años en el currículo. Una explicación podría encontrarse

en la forma en que es impartido por los textos y presumiblemente en las explicaciones de los profesores en clase. La introducción de las estructuras de Lewis presenta una indudable importancia didáctica; sin embargo, éstas se suelen presentar haciendo uso de la idea de compartición de electrones como factor justificador de la atracción de los átomos. Cuando se presenta la fuerza electrostática como explicación en la unión de los iones en el enlace iónico y la compartición de electrones en el enlace covalente, probablemente hacemos pensar a los alumnos que esta última se trata de una nueva fuerza, diferente a las cuatro que todos conocemos (electromagnética, gravitatoria, débil y fuerte). Estas ideas sobre el enlace covalente son reforzadas por algunos libros de texto: «[...] están formadas por átomos neutros, unidos por fuerzas que no son de carácter eléctrico» (pág. 231). En otros textos, aunque no se cometen errores conceptuales, no queda suficientemente clara la naturaleza del enlace covalente. A las explicaciones de textos y profesores, hay que añadir la tendencia habitual detectada en algunos alumnos de rehuir el aprendizaje significativo, ya que rechazan las oportunidades que se les brindan de conectar con otras concepciones y prefieren reglas más o menos simples de aplicación directa sin el adecuado conocimiento de las mismas.

Con los datos obtenidos podemos concluir que las fuerzas intermoleculares han sido menos interiorizadas por los alumnos que el enlace covalente y, por tanto, menos utilizadas en sus explicaciones. De un detallado análisis de contenido sobre el enlace químico en libros de texto españoles (De Posada, 1993b), observamos que las fuerzas de Van der Waals y los enlaces de hidrógeno reciben una atención muy inferior al de otros enlaces. De esta forma se contribuye a que quede explícita (aunque no comprendida) la unión entre los átomos para formar la molécula pero no que quede suficientemente clara la relación que existe entre las diferentes moléculas.

### Ion: un concepto especialmente complejo

La idea de *ion* no es fácilmente asumida por los alumnos. Ninguno de 2º de BUP la utilizó espontáneamente en sus explicaciones, sólo el 27% de 3º de BUP y el 37 % de COU lo hicieron. También en las grabaciones de clase se puso de manifiesto la dificultad de utilizar el concepto de *ion* por parte de los alumnos. Existen razones: psicológicas, epistemológicas y didácticas que podrían explicar este fenómeno.

#### Psicológicas

De acuerdo con Ausubel y otros (1983), para que se pueda producir aprendizaje significativo, es necesaria la existencia previa de *ideas inclusoras* en las mentes de los alumnos. El concepto de *ion* podría enlazar con el de átomo, con el que parece que guarda cierta sinonimia a juzgar por la utilización indiferenciada de muchos alumnos. Sin embargo, es necesaria la *diferenciación progresiva* (Novak y Gowin, 1984) de ambos conceptos para poderlo aprender finalmente.

Por otro lado, para que un concepto científico sea aprendido, de acuerdo con Vygotsky (1962), debe existir previamente uno de espontáneo similar, en la mente del alumno. En el análisis de las concepciones antes de la enseñanza formal de la química no hemos detectado concepciones alternativas al concepto de *ion* en la cuestión 3, aunque sí para explicar la atracción entre átomos (35% en la cuestión 2). Sería necesario un mayor estudio para precisar si se trata de un artefacto producido por los alumnos en el momento de dar una explicación o si tiene entidad real. También sería preciso analizar el grado de coherencia utilizado por los estudiantes en sus explicaciones.

La teoría de Ausubel y otros (1983) propone un aprendizaje de naturaleza jerárquica descendente. Conceptos más generales deben abrir paso a conceptos más específicos. La teoría de Vygotsky (1962) predice exactamente lo contrario. Para que el concepto científico de mayor jerarquía sea aprendido es necesario uno espontáneo similar de menor estatus. Creemos que ambos procesos de aprendizaje ascendente y descendente son necesarios para conseguir aprendizaje significativo (De Posada, en prensa). La diferenciación progresiva de conceptos científicos debe realizarse pero ha de ir conectando o integrando concepciones espontáneas. Esto explicaría en parte la gran dificultad de producir aprendizajes significativos en determinadas áreas científicas.

#### Epistemológicas

Babor e Ibarz (1965) aseguran que era fácil comprender que los químicos prestasen muy poca atención a la teoría de Arrhenius, ya que las cargas eléctricas sobre los iones eran imaginadas y poco significativas en lo que respecta a sus propiedades. Probablemente debió influir el hecho común de que se aprecian pocas diferencias en el comportamiento de cuerpos electrizados, como trozos de papel, cabellos, hojas de plástico, etc. en relación con esos mismos cuerpos sin electrizar. De forma paralela en los alumnos, átomos e iones no deben tener muchas diferencias de comportamiento, por lo que se podría prescindir del uso del término *ion*. Sin él, los alumnos creen conseguir explicar adecuadamente la estructura interna de sustancias iónicas por la alternancia de los átomos constituyentes (De Posada, 1993a). Explican la disolución de estas sustancias en agua por la separación en átomos o moléculas y justifican la conductividad de los metales por medio de saltos de electrones de unos átomos a otros (De Posada, 1997). De esta forma, aunque el concepto de *ion* es potencialmente inteligible para los alumnos (Posner et al., 1982), no resulta fructífero (aplicable), ya que no presenta la propiedad de ser plausible (resolver nuevos problemas) por no existir insatisfacción con sus concepciones de átomos y moléculas.

#### Didácticas

Son muy pocos los textos analizados que aportan pruebas sobre la realidad de los iones y sus diferencias con los átomos (De Posada, 1993b). La mayoría, más bien, postula su existencia. Los esquemas de los alumnos no pasan por todos los vericuetos por los que pasaron las

teorías científicas; sin embargo, las nuevas nociones no son introducidas en los esquemas de los alumnos por simple inducción o actos de fe. Por el contrario, se trata de un complicado proceso de construcción de significados en el que nuevos problemas son observados desde la óptica de lo que se conoce significativamente (memoria semántica experiencial; De Posada, 1996) mediatizados por el uso de métodos de análisis al alcance del individuo.

Puede ser argumentado que, si bien no se aportan pruebas sobre la realidad de los iones en la unidad sobre el enlace químico, el concepto de *ion* es utilizado en otras secciones del currículo, como *equilibrio iónico* y *redox* entre otros. Algunos alumnos asimilan este concepto pero otros no distinguen entre *átomo* y *ion*. Verán, en el equilibrio iónico de un ácido, no una ionización sino una disociación. Los superíndices utilizados para la notación de los iones son interpretados erróneamente por muchos alumnos que los consideran como subíndices o protones ganados en el caso de los cationes (De Posada, 1993b). De este modo, la comprensión del material resulta difícil o hasta incomprensible para muchos estudiantes y, en lugar del entendimiento, se instaura el memorismo irreflexivo y acrítico.

Como consecuencia, en parte, de la falta de asimilación del concepto de *ion* resulta más utilizada la estructura molecular que el de red para explicar la estructura interna de sustancias simples. Otra razón puede ser encontrada en la absoluta similitud de las fórmulas de compuestos iónicos y moleculares, necesitando para diferenciarlas complicados procesos de deducción sobre los conocimientos adquiridos descrito en el perfil de la cuestión número 3 (Tabla III), que no se encuentran al alcance de todos los alumnos.

### Algunas implicaciones didácticas

Como la unidad de enlace químico se encuentra al principio de los currículos de química, los conceptos introducidos posteriormente deberán relacionarse de forma significativa con los expuestos en el tema de enlace. Se hace necesario, por tanto, promover frecuentes *reconciliaciones integradoras* (Ausubel et al., 1983) entre los diferentes conceptos; de esta forma, potenciaremos la posición que creemos que debe ocupar el tema de enlace químico como *concepto estructurante* (Gagliardi y Giordan, 1986). La profundidad de los conceptos a tratar debe estar en consonancia con los que posteriormente van a ser utilizados para explicar y justificar los fenómenos

físicos y químicos en ese nivel (De Posada, 1994). Aunque no es el objetivo de este trabajo proponer sugerencias o medidas correctoras, aventuraremos algunos ejemplos concretos de actuación para promover reconciliaciones integradoras. Quedarán para otro momento propuestas para la diferenciación progresiva de los conceptos implicados en el enlace químico:

– Utilización sistemática de dibujos, en las diferentes unidades didácticas en los que aparezcan sustancias químicas puras o mezclas, mostrando cómo se encuentran distribuidos en el espacio los diferentes átomos o iones de las sustancias implicadas. La finalidad es reforzar con imágenes la discontinuidad de la materia y los tipos de agregados. Noh y Scharmann (1997) encontraron que esta estrategia ayuda a los estudiantes a construir más eficazmente concepciones correctas.

– En esos dibujos debe aparecer un número abundante de partículas pero nunca una pareja, pues estaríamos incentivando la idea que propugna la existencia de moléculas en todo tipo de sustancias.

– Las reacciones químicas podrían estar acompañadas de dibujos en los que aparecieran el aspecto macroscópico de las sustancias reaccionantes y productos, así como las estructuras internas de estas sustancias.

– Seleccionar cuidadosamente tramos de la historia de las ciencias o experiencias muy próximas a lo cotidiano del alumno, que conectadas con los esquemas conceptuales de éstos pongan de manifiesto: la discontinuidad de la materia; la existencia de iones; la formación de redes atómicas, moleculares, cristalinas y metálicas; etc.

– Notación gráfica de iones de diferente tamaño y color al de los átomos de procedencia para reforzar la idea de que tienen distintas propiedades.

– Desarrollar la formulación de química inorgánica mediante el uso de grupos iónicos y solicitar en los ejercicios de esta materia que los caractericen. La finalidad es sistematizar el uso del concepto de *ion*.

– Recordar los tipos de enlaces rotos y formados en reacciones químicas estudiadas en diferentes unidades didácticas al enlace químico.

– En otras secciones de la química, proponer cuestiones en las que se pregunte, a partir de la fórmula química de sustancias simples, por la fase que probablemente se encontrarán en condiciones ordinarias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHAM, M.R. et al. (1992). Understanding and misunderstandings of eighth graders of five chemistry concepts found in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, pp. 105-120.
- ALLINGUER, N.L. et al. (1979). *Química orgánica*. Barcelona: Reverté.
- APU (Assessment of Performance Unit) (1984). *Science report for teachers: 5. Science at age 15*. Hertfordshire. The Garden City Press Limited.
- AUSUBEL, D.P., NOVAK, J.D. y HANESIAN, H. (1983). *Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- BABOR, J.A. e IBARZ, J. (1965). *Química general moderna*. Barcelona: Marín, SA.
- BAILAR, J.C. et al. (1989). *Chemistry*. Orlando (Florida): Harcourt Brace Jovanovich.
- BAR, V. (1989). Children's views about the water cycle. *Science Education*, 73, pp. 481-500.
- BENFEY, O.T. (1965). Geometría y enlace químico. *Primera conferencia Interamericana sobre la Enseñanza de la Química*, pp. 51-66. Buenos Aires.
- BENSON, D. L., WITTRICK, M.C. y BAUR, M.E. (1993). Students' preconceptions of the nature of gases. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(6), pp. 587-597.
- BLISS, J., MONK, M. y OGBORN, J. (1983). *Qualitative Data Analysis for Educational Research*. Londres: Biddles Ltd. Guildford and King's Lynn.
- BOO, H.K. (1998). Students' understanding of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), pp. 569-581.
- BORSESE, A., LUMBACA, P. y PENTIMALLI, R. (1996). Investigación sobre las concepciones de los estudiantes acerca de los estados de agregación y los cambios de estado. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), pp. 15-24.
- 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 Educations, The University of Leeds. Gran Bretaña.
- BUESO, A., FURIÓ, C. y MANS, C. (1987). Interpretación de las reacciones de oxidación-reducción por los estudiantes. Primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, pp. 155-156.
- CAAMAÑO, A. y CASASSAS, E. (1987). La comprensión de la estructura de la materia y del cambio químico en estudiantes de 15 y 16 años. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, pp. 159-160.
- CAVALLO, A.M.L. y SCHAFER, L.E. (1994). Relationships between students' meaningful learning orientation and their understanding of genetics topics. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, pp. 393-418.
- CAVALLO, A.M.L. (1996). Meaningful learning, reasoning ability, and students' understanding and problem solving of topics in Genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, pp. 625-656.
- CENDEJAS, R. et al. (1988). *Aprendiendo en física y química*. Vélez Málaga: Elzevir.
- COBB, P. (1990). Multiple perspectives, en Steffe, L.P. y Wood, T. (eds.). *Transforming children's mathematics education: International perspectives*, pp. 200-215. Hillsdale, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum.
- CHASTRETTE, M. y FRANCO, M. (1991). La reacción química: descripciones e interpretaciones de los alumnos de liceo. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(3), pp. 243-247.
- DONN, S. (1989). *Epistemological issues in science education*. Reunión anual de National Association for Research in Science Teaching, San Francisco, CA.
- DRIVER, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), pp. 109-120.
- DRIVER, R. y ERICKSON, G. (1983). Theories-in-Action: Some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in Science. *Studies in Science Education*, 10, pp. 37-60.
- DRIVER, R. et al. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23, pp. 5-12.
- DUMON, A. y MERLIN, A. (1988). Difficulties with molecular orbitals. *Education in Chemistry*, 25(2), pp. 49-52.
- ELLIOTT, J. (1984). Las implicaciones de la investigación en el aula para el desarrollo profesional. *Métodos y técnicas de investigación-acción en las escuelas*. Seminario de formación. Octubre. Málaga.
- FELLOWS, N.J. (1994). A window into thinking: Using student writing to understand conceptual change in science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, pp. 985-1001.
- FURIÓ, C. y HERNÁNDEZ, J. (1983). Ideas sobre los gases en alumnos de 10 a 15 años. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(2), pp. 83-91.
- FURIÓ, C., HERNÁNDEZ, J. y HARRIS, H.H. (1987). Parallels between adolescents conception of gases and the History of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64(7), pp. 616-618.
- GAGLIARDI, P.J. y GIORDAN, A. (1986). La historia de las Ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(3), pp. 253-258.
- GALACHE, M. I. y CAMACHO, E. (1992). Un avance decisivo en el conocimiento de los iones: la teoría de Arrhenius de la disociación electrolítica. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(3), pp. 307-311.
- GARNETT, P.J. y TREAGUST, D.F. (1992). Conceptual difficulties experienced by senior school students of Electrochemistry: Electric circuits and oxidation-reduction equations. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(2), pp. 121-142.
- GENTIL, C., IGLESIAS, A. y OLIVA, J.M. (1989). Nivel de apropiación de la idea de discontinuidad de la materia en alumnos de bachillerato. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 7(2), pp. 126-131.
- GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1987). Los programas-guías de actividades: una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 3, pp. 3-12.
- GINNS, I.S. y WATTERS, J.J. (1995). An analysis of scientific understanding of preservice elementary teacher education students. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, pp. 205-222.

- GIORDAN, A. y DEVECCHI, G. (1988). *Los orígenes del saber*. Sevilla: Díada.
- GRAY, H.B. y HAIGHT, G.P. (1976). *Basic Principles of Chemistry*. Nueva York: W.A. Benjamín. Trad. de Saliotti, J.M. *Principios básicos de química*. Barcelona: Reverté, SA.
- GRIFFITHS, A.K. y PRESTON, K. R. (1992). Grade 12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, pp. 611-628.
- GUBA, E. (1983). Criterios de credibilidad en la investigación naturalista, en Gimeno Sacristán, J. y Pérez Gómez, A.I. *La educación: su teoría y su práctica*. Madrid: Akal.
- GUERRERO, J.F. (1991). *Introducción a la investigación etnográfica en educación especial*. Salamanca: Amarú.
- Haidar, A.H. y ABRAHAM, M.R. (1991). A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, pp. 919-938.
- IGLESIAS, A., OLIVA, J.M. y ROSADO, L. (1990). Las interacciones entre estudiantes en el trabajo en grupos y la construcción del modelo corpuscular de la materia y el principio de conservación de la masa. *Investigación en la Escuela*, 12, pp. 57-67.
- JENSEN, W.B. (1984). Abegg, Lewis, Langmuir and the octet rule. *Journal of Chemical Education*, 61(3), pp. 191-200.
- KEIG, P. F. y RUBBA, P. A. (1993). Translation of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, gender, spatial reasoning, and specific prior knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(8), pp. 883-903.
- LAWSON, A.E. et al. (1993). The role of hypothetico-deductive reasoning and physical analogues of molecular interactions in conceptual change. *Journal of Research in Science Education*, 30(9), pp. 1073-1085.
- LEE, O. et al. (1993). Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), pp. 249-270.
- LONNING, R. A. (1993). Effect of cooperative learning strategies on student verbal interactions and achievement during conceptual change instructions in 10th grade general science. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, pp. 1087-1101.
- LLORENS MOLINA, J. A. (1988). La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la Escuela*, 4, pp. 33-48.
- LLORENS MOLINA, J.A. (1991). *Comenzando a aprender química: Ideas para el diseño curricular*. Madrid: Visor.
- MASTERTON, W.L. y HURLEY, C.N. (1989). *Chemistry. Principles & Reactions*. Orlando (Florida): Saunders Golden Sunburst Series.
- McDONALD, B. (1984). La formación del profesor y la reforma del currículo. Algunos errores ingleses. Simposio Teoría y práctica de la formación y perfeccionamiento del profesorado. Subdirección general de perfeccionamiento del profesorado. Febrero. Málaga.
- MONDELO, M., GARCÍA, S. y MARTÍNEZ, C. (1994). Materia inerte o materia viva. ¿Tienen ambas constitución atómica? *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), pp. 226-233.
- NOH, T. y SCHARMANN, L.C. (1997). Instructional influence of a molecular-level pictorial presentation of matter on students' conceptions and problem-solving ability. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), pp. 199-217.
- NOVAK, J. D. (1977). *A theory of education*. Cornell: Cornell University Press.
- NOVAK, J. D. (1988). Learning science and the science of learning. *Studies in Science Education*, 15, pp. 77-101.
- NOVAK, J. D. y GOWIN, B. D. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge, M.: Cambridge University Press. Trad. de Campanario, J.M. y Campanario, E. 1988. *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: Martínez Roca.
- NOVICK, S. y NUSSBAUM, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education*, 62, 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.
- NUSSBAUM, J. (1985). The particulate nature of matter in the gaseous phase, en Driver, R. Guesne, E. y Tiberghien, A. (eds.). *Children ideas in Science*, pp. 124-144. Milton Keynes, RU.: Open University Press.
- PAOLONI, L. (1979). Toward a culture-based approach to chemical education in secondary schools: The role of chemical formulae in the teaching of chemistry. *European Journal of Science Education*, 1(4), pp. 365-377.
- PAULING, L. (1992). The nature of the Chemical Bond-1992. *Journal of Chemical Education*, 69(6), pp. 519-521.
- PETERSON, R.F. y TREAGUST, D.F. (1989a). Grade-12 students' misconceptions of covalent bonding and structure. *Journal of Chemical Education*, 66(6), pp. 459-460.
- PETERSON, R. F., TREAGUST, D. F. y GARNETT, P. (1989b). Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and -12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(4), pp. 301-314.
- PIAGET, J. (1972). *Human development*, 15, p. 1.
- POSADA, J.M. DE (1993a). 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. DE (1993b). Estudio de los constructos de los alumnos y análisis secuencial de libros de texto en los niveles BUP y COU en relación con la estructura de la materia y enlace químico. Tesis doctoral. Universidad de Málaga. España. São Paulo, Brasil: Miguel de Cervantes. Resumen en *Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), pp. 351-353.
- POSADA, J.M. DE (1994). Reflexiones didácticas sobre el enlace químico en la enseñanza secundaria superior española y brasileña. International Conference Science and Mathematics Education for the 21st century: Towards innovatory approaches, pp. 239-248. Chile: Universidad de Concepción.
- POSADA, J.M. DE (1996). Hacia una teoría sobre las ideas científicas de los alumnos: Influencia del contexto. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), pp. 303-314.
- POSADA, J.M. DE (1997). Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: Structure and evolution. *Science Education*, 81(4), 445-467.

- POSADA, J.M. DE (en prensa). Towards an integrated psychopedagogical model for students' alternative conceptions. *Journal of Research in Science Teaching*.
- POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W. y GERTZOG, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, pp. 211-227.
- SHEPARDSON, D.P. (1996). Social interactions and the mediation of science learning in two small groups of first-graders. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(2), pp. 159-178.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1991). Análisis de la introducción de la teoría de enlaces y bandas. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), pp. 53-58.
- SONG, J. y BLACK, P.J. (1991). The effects of task contexts on pupils' performance in science process skills. *International Journal of Science Education*, 13(1), pp. 49-58.
- STAVY, R. (1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*, 10, pp. 553-560.
- TAYLOR, S.J. y BOGDAN, R. (1986). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación. La búsqueda de significados*. Buenos Aires: Paidós.
- VOS, W. DE y VERDONK, A.H. (1996). The particulate nature of matter in science education and in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), pp. 657-664.
- VYGOTSKY, L.S., (1962). *Thought and language*. Cambridge: MIT Press. Traducción portuguesa de Camargo, J.L. 1991. *Pensamento e linguagem*. São Paulo (Brasil): Martins Fontes.
- WATTS, D.M. y TABER, K.S. (1996). An explanatory gestalt of essence: students' conceptions of the «natural» in physical phenomena. *International Journal of Science Education*, 18(8), pp. 939-954.

[Artículo recibido en octubre de 1996 y aceptado en septiembre de 1998.]

ANEXO

CUESTIÓN NÚMERO 1

Supón por un momento que tienes una botella llena de átomos de oxígeno gas (en el recipiente no hay ni una sola molécula). Haz un *dibujo a escala atómica* de dichos átomos.

Justifica si serán estables o no.

¿Qué les pueden ocurrir?

CUESTIÓN NÚMERO 2

La molécula de *F* es diatómica (está formada por dos átomos de flúor). Indica cómo pueden estar unidos ambos átomos.

¿Y esta molécula a otras de flúor?

CUESTIÓN NÚMERO 3

Representa *diez partículas* desde el punto de vista atómico de cada una de las siguientes sustancias en condiciones ambientales ordinarias:

KCl		N <sub>2</sub>	
HCl		Ca	

Justifica cada uno de tus dibujos.