

¿Comprenden los estudiantes de 2º de bachillerato el comportamiento ácido-base de las sustancias? Análisis de las dificultades de aprendizaje

Carles Furió-Más*
María Luisa Calatayud**
Sergio L. Bárcenas***

Artículo recibido: 28-9-2007 y aprobado: 12-10-2007

Understands the students of 2º of baccalaureate behavior acid-base behavior of the substances? Analysis of the learning difficulties

■ **Resumen:** Los estudiantes que finalizan sus estudios de bachillerato (17 o 18 años) deberían ser capaces de comprender las conceptualizaciones macroscópica y microscópica del comportamiento ácido-base y la relación entre estos modelos conceptuales. Este trabajo tiene por objeto ver en qué medida estos estudiantes dominan estos conocimientos y explican las propiedades de ácidos, bases y sales, a partir de sus moléculas (iones y moléculas). El estudio realizado revela que tienen un pobre conocimiento conceptual y procedimental del comportamiento ácido-base de las sustancias y sus disoluciones. La mayoría tiene dificultades para diferenciar entre ion y átomo de un elemento y consecuentemente no disponen de recursos para interpretar propiedades de las sustancias tales como la disolución en agua y la conductividad eléctrica.

Palabras clave: aprendizaje, evaluación, comportamiento ácido-base, soluciones acuosas.

■ **Abstract:** By the end of their high school studies, students should be able to understand macroscopic and sub-microscopic conceptualization of acid-base behavior and the relationship between these conceptual models. The aim of this article is to ascertain whether or not grade 12 students have sufficient background knowledge to correctly explain the properties of acids, bases and salts from their constituent entities (ions or molecules). This study reveals that grade 12 students lack some of the necessary knowledge and skills to understand the acid base behavior of substances. They do not differentiate between the ion and atom of an element and consequently find it difficult to interpret the properties of substances such as solution in water and electrical conductivity.

Keywords: Learning, survey, acid-base chemistry, aqueous solution chemistry.

* Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials, Universitat de València, Apartat de Correus nº 22075, 46071 València, España. e-mail: carles.furio@uv.es

** María-Luisa Calatayud, I.E.S.' Sorolla', c/ José María Haro, nº 2, 46022 València, España.

*** Sergio L. Bárcenas, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México.

Introducción

El estudio del comportamiento ácido-base de las sustancias constituye uno de los núcleos básicos en los currículos del Bachillerato español (17 y 18 años) y de primer curso de algunas titulaciones universitarias de Ciencias (Química, Física, Farmacia, Biología, etc.) además de formar parte, a nivel más elemental, del currículo de la Enseñanza Secundaria Obligatoria (12-16 años). Los ácidos y bases están presentes de forma habitual en la vida ordinaria y es conocida la gran importancia de estas sustancias en la industria y, en particular, en las reacciones que tienen lugar en los seres vivos. Por otra parte, no se puede olvidar la incidencia de estas sustancias en el medio ambiente, sus consecuencias y la búsqueda de posibles soluciones a estos nuevos problemas que están surgiendo en el planeta como consecuencia del desarrollo científico y tecnológico.

La importancia creciente de este tema ha ido acompañada de la constatación de dificultades de enseñanza y aprendizaje de estos conceptos, que afectan incluso a los estudiantes universitarios (Cross 1986; Zoller, 1990; Schmidt, 1991; Ross y Mumby, 1991; Nakhleh y Krajcik, 1994; Vidyapati y Seetharamappa, 1995; De Vos y Pilot, 2001; Drechsler, 2005).

Si se pretende que la enseñanza ayude a que los estudiantes progresen adecuadamente en sus conocimientos, superen sus dificultades de aprendizaje, no sólo se han de tener en cuenta sus ideas y razonamientos anteriores a la instrucción, sino también las soluciones aportadas por la Historia de la ciencia a los problemas científicos, ya que ello les permite una mejor comprensión del conocimiento científico (Hodson 1992;

Furió *et ál.* 2005). La comprensión de los conceptos exige superar una enseñanza centrada en la componente conceptual y plantear la enseñanza de las ciencias como una actividad próxima a la investigación científica que integre las dimensiones conceptual, procedimental y axiológica del aprendizaje (Duschl y Gitomer, 1991). Actualmente no se puede ignorar la estrecha vinculación existente entre las tres componentes citadas en el aprendizaje de las ciencias (Hodson, 1992).

Investigadores como Adey (1997) han planteado como cuestión a investigar si puede el conocimiento de cualquier materia organizarse de acuerdo con una jerarquía que favorezca su comprensión. Y aunque es sabido que puede haber muchas soluciones a esta jerarquización del contenido, se busca estudiar cómo progresa empíricamente el estudiante con el fin de fundamentar más desde el punto de vista de la psicología la secuencia de contenidos en la enseñanza. Esta fundamentación Psicológica del currículo puede ser complementada con el análisis epistemológico de los conocimientos científicos que los estudiantes han de (re)construir (Mortimer, 1995; Furió *et ál.*, 1987).

De acuerdo con lo señalado, el propósito del presente trabajo es evaluar si los estudiantes de cursos de Química de 2º de Bachillerato poseen las competencias necesarias para explicar correctamente las propiedades de los ácidos, de las bases y las sales a partir de sus entidades constituyentes (átomos, iones o moléculas). También se pretende averiguar en qué medida la carencia de algunas de estas competencias explica determinadas dificultades de aprendizaje.

Modelos macroscópico y microscópico con los que se explican las principales propiedades de las sustancias

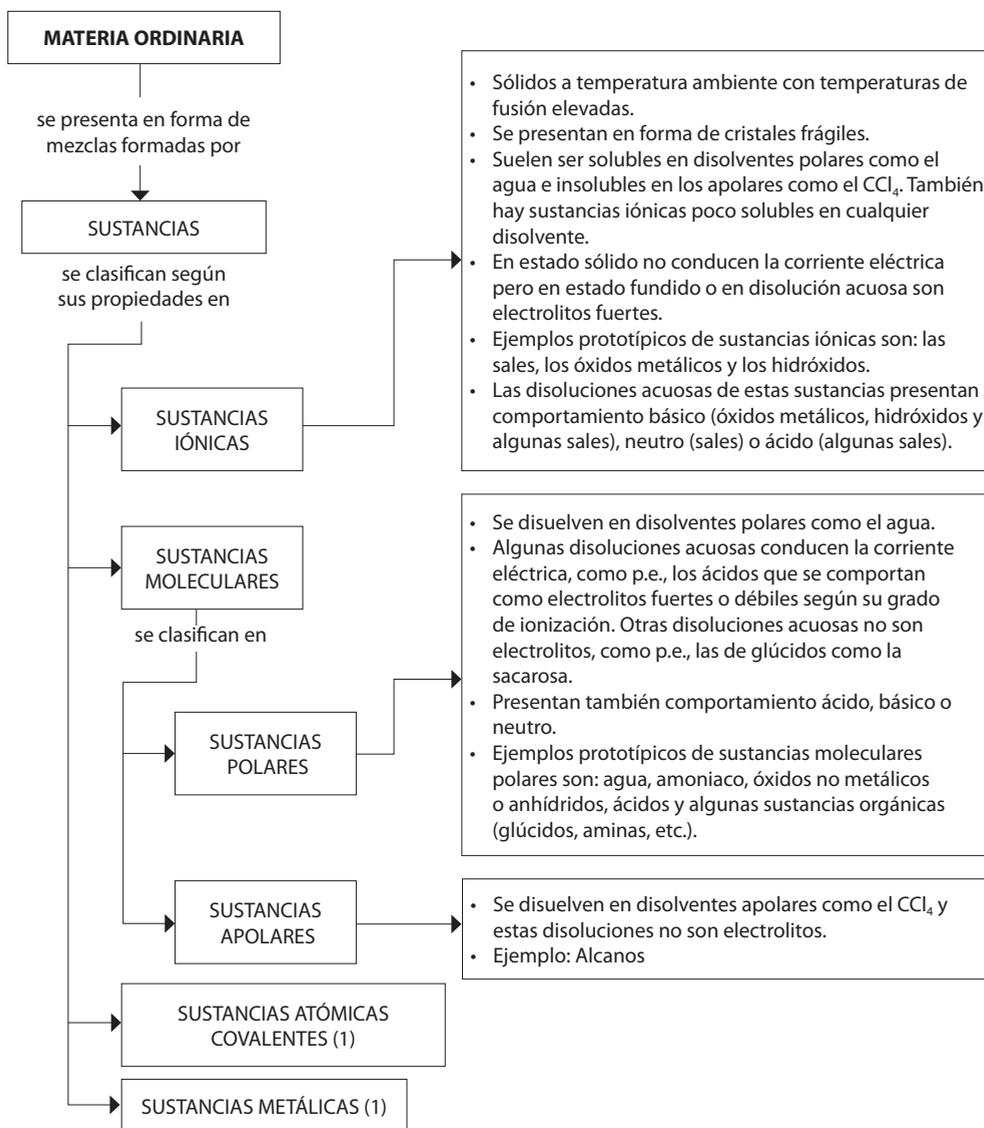
Una de las principales cuestiones que se han detectado recientemente en las revisiones de las dificultades de enseñanza y de aprendizaje de la Química (Wandersee *et ál.*, 1994; Garnett y Hackling, 1995, Treagust *et ál.*, 2000) y que hay que tener en cuenta en estas enseñanzas es la existencia de múltiples modelos o representaciones del mundo que utiliza la cultura química. La Química presenta, en general, dos modelos conceptuales de representación que habitualmente se superponen en la enseñanza y que se corresponden con los niveles macroscópico y microscópico de descripción e interpretación de las sustancias y de sus interacciones (Gabel, 1998). Estos dos niveles están íntimamente relacionados, ya que el químico trata de interpretar las propiedades que presentan las sustancias en el mundo macroscópico modelizando esa realidad con la teoría atómica de la materia donde se introducen entidades o partículas como, por ejemplo, moléculas, iones y electrones.

En el caso de la Química de 2.º de Bachillerato es frecuente programar el estudio de la clasificación de las sustancias en iónicas, covalentes moleculares, atómicas, etc., y de los enlaces existentes en las entidades antes de ver los contenidos de las reacciones ácido-base. Estos contenidos contemplan, entre otros conocimientos, el modelo macroscópico de los ácidos y las bases, entendido como modelo conceptual con el que se describe el comportamiento de estas sustancias y que no debe confundirse con la visión empirista de dicho comportamiento; y los modelos micros-

cópicos de Arrhenius y Brønsted con los que explicamos el comportamiento y las reacciones ácido-base. La investigación didáctica (Gil, 1996) ha puesto de manifiesto que los profesores tienen una visión acumulativa, de crecimiento lineal de los conocimientos científicos, ignorando las crisis y los cambios profundos ocasionados por procesos complejos que no siguen modelos prefijados. Investigaciones recientes (Furio *et ál.*, 2005) muestran que como consecuencia de esta visión acumulativa, los profesores, por ejemplo, consideran que una sustancia ácida es la partícula (superposición macro-micro) o que la teoría de Brønsted es la de Arrhenius ampliada (superposición de estos dos modelos) o explican sólo un modelo microscópico, como modelo síntesis de los anteriores, presentándolo en forma simbólica.

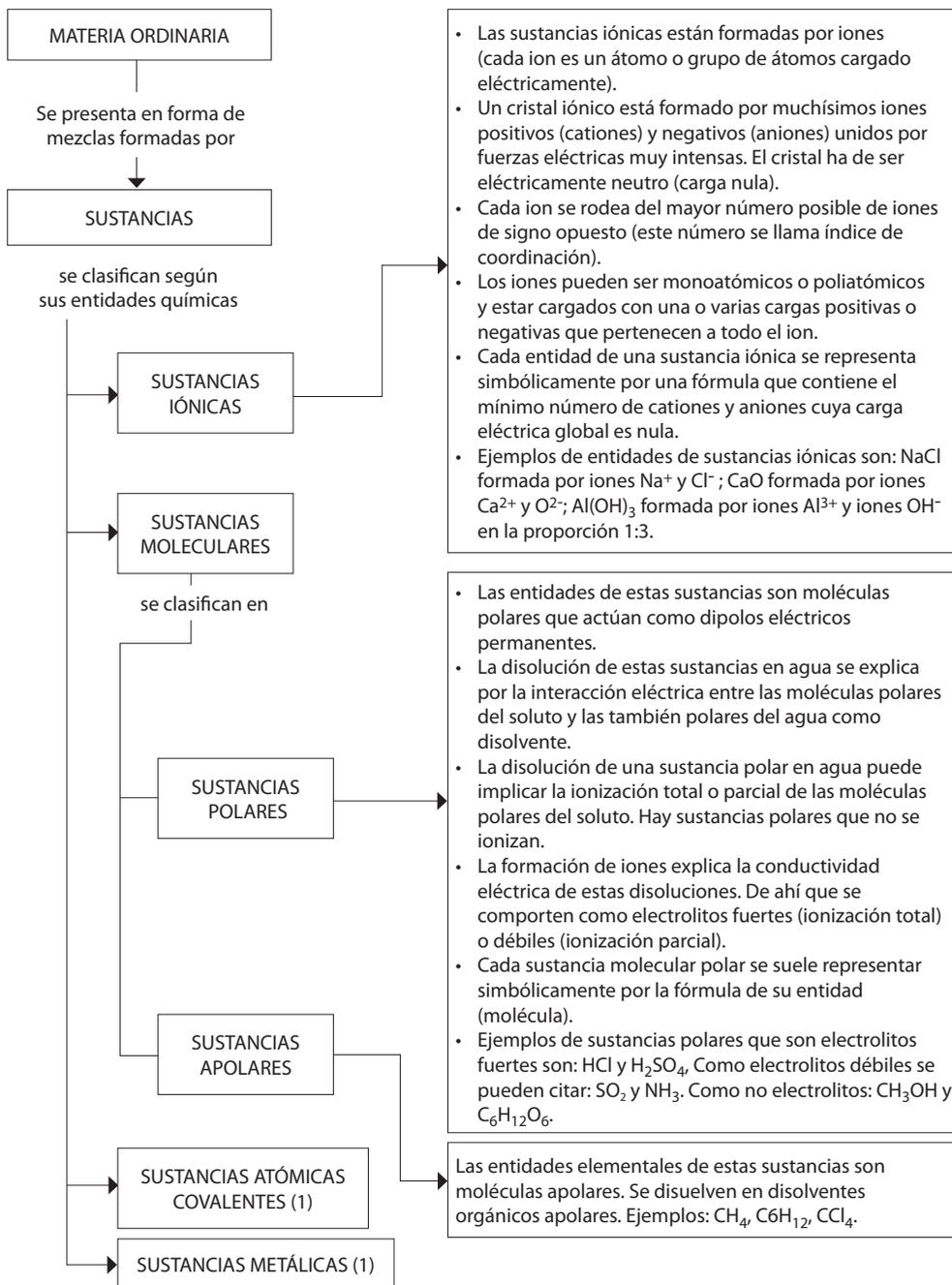
Para evaluar las competencias de los estudiantes sobre el comportamiento ácido-base de las sustancias se proponen dos mapas conceptuales que señalan aspectos conceptuales, procedimentales y axiológicos que los estudiantes deberían haber adquirido al finalizar sus estudios de Bachillerato. Ambos fueron contruidos basándose en los programas de Química de Bachillerato, en textos de Química (Chang, 1994; Moore *et ál.*, 1998; Kotz y Purcell, 1991) y en la experiencia docente de los autores del trabajo. El Cuadro 1 hace referencia al modelo macroscópico con el que clasificamos las sustancias según denominación y comportamiento general atendiendo al tipo de enlace en sus partículas constituyentes. El Cuadro 2 muestra el modelo microscópico con el que explicamos las principales propiedades macroscópicas comunes a cada una de las clases de sustancias supuestas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de las sustancias químicas basada en la estructura de sus entidades y cuyos modelos han de explicar las principales propiedades macroscópicas comunes a cada clase.



(1) No se detallan sus propiedades porque no van a ser utilizadas en el estudio de la ionización de sustancias químicas.

Cuadro 2. Modelos conceptuales microscópicos de las sustancias químicas



(1) No se detallan sus propiedades porque no van a ser utilizadas en el estudio de la ionización de sustancias químicas.

Indicadores de comprensión del comportamiento de ácidos, bases y sales

Los indicadores de comprensión que se van a presentar en el aprendizaje se clasificarán atendiendo a que los estudiantes han de construir conocimientos en sentido amplio –se incluyen también habilidades y actitudes– de manera que sepan interpretar el comportamiento ácido-base de las sustancias a partir de sus entidades químicas (iones y moléculas).

Se ha contemplado de manera gradual la complejidad de los diferentes niveles de conceptualización macro y micro así como su relación, ya que la progresión en el aprendizaje requiere partir de un modelo aprendido anteriormente a otro más complejo (Taber, 1995). Es evidente que la jerarquía de dificultades irá en consonancia con el crecimiento en complejidad de los niveles de representación y, por tanto, es de esperar que exista un mayor nivel de fracaso escolar cuando la tarea implique

un esfuerzo de interpretación microscópica de los fenómenos.

Ello implica que han de adquirir competencias, primero, de ‘conceptualización macroscópica’ respecto al comportamiento de las sustancias que le permitan al estudiante reconocer cuando se clasifica empíricamente una sustancia iónica o molecular como ácido o como base. En segundo lugar, el estudiante ha de tener un conocimiento profundo de las entidades microscópicas que conforman estas sustancias (*‘conceptualización microscópica’*). Y, por último, ha de saber relacionar estos dos niveles macro y micro de manera adecuada con la finalidad de interpretar coherentemente las propiedades de los ácidos y las bases (en particular, su disolución en agua y la conductividad eléctrica de estas disoluciones), así como los procesos de neutralización e hidrólisis. El Cuadro 3 muestra los contenidos conceptuales y procedimentales que han de saber los estudiantes de 2.º de Bachillerato sobre el comportamiento ácido-base de las sustancias.

Cuadro 3. Indicadores de comprensión conceptual y procedimental en el aprendizaje de las reacciones ácido-base.

Conceptualización macroscópica

- Saber diferenciar, a partir de sus propiedades, una sustancia iónica de otra que no lo es. En particular, saber distinguir una sustancia iónica de otra molecular polar. Por ejemplo, viendo diferencias en los puntos de fusión y ebullición, estados físicos en condiciones ambientales, etc.
- Reconocer las propiedades semejantes de las sustancias iónicas y algunas sustancias moleculares polares, tales como: fácil disolución en agua, conductividad eléctrica de estas disoluciones.
- Saber que los ácidos, bases y sales pertenecen al conjunto de sustancias iónicas y moleculares polares, si bien se caracterizan por tener, además, otras propiedades específicas (por ejemplo, colorear ciertos indicadores, ataque a metales, etc.). En particular, han de saber que los ácidos y las bases ‘neutralizan’ sus propiedades al combinarse y formar otras sustancias, las sales, y también que muchas de las sales neutras al disolverse en agua tienen un comportamiento ácido-base anómalo (hidrólisis).

Conceptualización microscópica

- Saber reconocer, a partir de la fórmula empírica, las entidades de una sustancia iónica (sus iones) y de una molecular polar (sus moléculas). En particular, las de los ácidos, bases y sales que se manejan habitualmente.
- Saber predecir los iones que se formarán al disolver una sustancia iónica o molecular polar y, en particular, cuando se forman iones poliatómicos.
- Saber diferenciar átomo y ion elemental a partir de sus características estructurales o de su comportamiento y, en particular, de la carga neta y volumen respectivos.
- Saber el significado que se atribuye a cada uno de los símbolos y dígitos existentes en la fórmula de un ion poliatómico. Ello implica: a) saber que los subíndices indican el número de átomos de cada elemento que hay en el ion; b) saber cuál es la carga del ion (superíndice de la fórmula); c) saber cómo están unidos los átomos en el ion poliatómico (al menos, saber hacer la estructura de Lewis de las uniones covalentes entre los átomos que forman el ion).

Competencias de comprensión de la relación entre los niveles de conceptualización macro y micro en las reacciones ácido-base

- Comprender a escala microscópica cómo se disuelven las sustancias iónicas y moleculares polares en agua.
- Saber explicar cuál es el mecanismo de la conducción de la corriente eléctrica en una disolución iónica.
- Saber como se produce a escala microscópica la neutralización de un ácido y una base.
- Saber cómo se produce a escala microscópica la hidrólisis de una sal al disolverla en agua.
- Comprender cualitativamente la fragilidad de un cristal iónico.

Diseño experimental para evaluar las competencias de los estudiantes sobre el comportamiento ácido-base de las sustancias

El diseño consta de dos partes. Una primera parte se destinará a verificar si la mayoría de los alumnos poseen las competencias de conceptualización macroscópica y microscópica, detalladas en el Cuadro 3. Estas competencias fueron elaboradas basándose en los programas de Química correspondientes al Bachillerato. Ambos tipos de competencias se analizarán simultáneamente en todos los diseños propuestos. Para ello se propone un cuestionario Q1 relativo a la disociación de las sustancias con dos ítems y se aplica a 86 estudiantes. Un cuestionario Q2, cuyo objetivo es mostrar si el estudiante sabe diferenciar átomo y ion elemental así como el significado que se atribuye a la fórmula de un ion poliatómico. Consta de 8 ítems

y se aplica a 60 estudiantes. Por último, se ha elaborado la entrevista E1 sobre disociación iónica con la finalidad de profundizar en el pensamiento de los estudiantes. Esta entrevista se aplica a 28 estudiantes.

La segunda parte del diseño se destinará a analizar las competencias en la relación entre los modelos de conceptualización macro y micro. Para ello se propone el cuestionario Q3 acerca de cómo se disuelven las sustancias iónicas y moleculares polares en agua. Consta de tres ítems y se aplica a 60 estudiantes. Una segunda entrevista E2 aplicada a los 28 estudiantes completa este estudio para analizar cómo explican los estudiantes la conductividad eléctrica de disoluciones acuosas de ácidos, bases y sales. La interpretación de las reacciones de neutralización y de las de hidrólisis ya fue estudiada en un trabajo anterior (Furió *et ál.*, 2000).

Los estudiantes a los cuales se les aplican los diferentes cuestionarios, previamente han estudiado enlace químico y equilibrio químico, de acuerdo con una secuenciación de contenidos dentro de un programa establecido para la Química preuniversitaria (18 años). Los cuestionarios y entrevistas se aplicaron a estudiantes de un instituto de la ciudad de Valencia. Las entrevistas se realizaron individualmente con una duración de 20 a 30 minutos para cada una de ellas y fueron estructuradas en cuestiones para preguntar a los estudiantes, aunque el entrevistador podía formular alguna cuestión más al estudiante, si ello permitía obtener más información acerca de su pensamiento. Tres profesores de enseñanza secundaria comprobaron que la validez de las preguntas en los cuestionarios y entrevistas era adecuada y si su nivel de dificultad era el requerido para los estudiantes de bachillerato.

Resultados obtenidos al aplicar los diseños sobre competencias de conceptualización macroscópica y microscópica

Resultados cuestionario (Q1) sobre disociación de las sustancias

El cuestionario Q1, propuesto para verificar lo que los estudiantes han aprendido sobre disociación al iniciar el tema de reacciones ácido-base, se aplica a 86 alumnos y consta de dos ítems. El objetivo del ítem 1 es ver si el alumno reconoce la definición de disociación iónica que habitualmente se cita en los textos. El objetivo del ítem 2, consiste en ver si sabe como se disocian en agua algunas de los ácidos, bases y sales manejadas habitualmente.

En la Tabla 1 se muestran los resultados en % de respuestas correctas para los dos ítems.

Tabla 1. Porcentajes de respuestas correctas, incorrectas y en blanco obtenidas por los alumnos al cuestionario Q1 sobre la disociación de ácidos, bases y sales (N=86).

Item N°	Respuestas correctas (%)	Respuestas incorrectas (%)	No contestan (%)
1. ¿Que se entiende por disociación iónica?	73	12	15
2. Escribe la primera disociación iónica de las siguientes sustancias:			
NaOH	97	3	0
Ca(OH) ₂	92	4	4
HNO ₃	97	3	0
H ₃ PO ₄	57	32	11
H ₂ S	65	23	12
Na ₂ SO ₃	67	25	8
H ₂ SO ₄	55	35	10
CH ₃ NH ₂	25	55	20

La mayoría de los estudiantes (73%) sabe lo que significa la disociación iónica de sustancias en disolución acuosa (ítem 1). Un ejemplo prototípico de estas respuestas es:

“HCl → H⁺ + Cl⁻ una disociación iónica es la separación de una sustancia en sus iones correspondientes”.

Sin embargo, en el ítem 2 existe cierta dificultad en las disociaciones de

ácidos polipróticos (57%, 65 % y 55% de respuestas correctas para el H_3PO_4 , H_2S y H_2SO_4 respectivamente, para la primera disociación). La mayoría de errores se deben a que desconocen el tipo de carga de los iones que se forman y no suelen tener en cuenta el principio de electro-neutralidad de las sustancias.

El fracaso aumenta cuando las sustancias propuestas requieren cierto conocimiento de las que son sustancias moleculares polares que se disuelven en agua pero que apenas se ionizan, como es el caso de la CH_3NH_2 (25 % de respuestas correctas). En este caso, algunas de las respuestas incorrectas ionizan la metilamina en los iones CH_3NH^+ y H^+ . La mayoría de los estudiantes tienen dificultades para disociar aquellas sustancias en

las que han de aplicar explícitamente su conocimiento teórico para derivar su posible disociación. El estudiante asocia la idea de ácido a toda sustancia que presenta en su fórmula átomos de H (ionizables o no) y la base, cuando hay grupos atómicos OH (Furió *et ál.*, 2000).

Resultados del cuestionario (q2) sobre la diferenciación entre átomo y ion elemental y el significado que se atribuye a la fórmula de un ion poliatómico

Los ítems 3 y 4 se proponen para averiguar si el estudiante sabe diferenciar entre átomo e ion en algunas de sus características estructurales o funcionales. En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en Q2:

Tabla 2. Porcentajes de respuestas obtenidas por los alumnos en el cuestionario Q2 sobre el conocimiento microscópico de lo que son los iones y la disociación iónica del H_2SO_4 (N=60).

Item N°	Respuestas correctas (%)	Respuestas incorrectas (%)	No contestan (%)
3. ¿Son diferentes las estructuras electrónicas del Na y Na^+ ?	68	27	5
4. ¿Las propiedades del Cl y Cl^- son las mismas ?	54	38	8
5. Escribe la disociación iónica completa del H_2SO_4	46	22	32
6. ¿ Cuántos iones se forman por cada molécula de ácido sulfúrico completamente disociado?	17	37	46
7. ¿ Cuántos átomos tiene el ion sulfato?	17	15	68
8. ¿Cómo están unidos los átomos en el ion sulfato?	32	7	61
9. ¿Cuál es la carga eléctrica en el ion sulfato?	22	12	66
10. ¿A quién pertenece la carga en el ion sulfato?	10	9	81

Un 68% contesta correctamente (ítem 3) al señalar que las estructuras electrónicas de Na y Na^+ no son iguales, y que difieren en un electrón. En este caso los estudiantes han aprendido correctamente las configuraciones electrónicas y ello les permite diferenciar bien entre Na y Na^+ . Sin embargo, un 27% se equi-

voca y la mayoría de estos estudiantes manifiesta la confusión entre átomo y ion de un elemento (Nakhleh, 1992 y Nakhleh *et ál.* 1994). Resultados peores se obtienen para el ítem 4, pues sólo el 54% responde que las propiedades del Cl y del Cl^- no son las mismas y la mitad de las respuestas incorrectas muestran

la confusión entre átomo y ion ya que indican que ambos presentan el mismo comportamiento (Tan *et ál.*, 2004). Además atribuyen propiedades macroscópicas a un ion, como se expone en el ejemplo siguiente:

Aunque el cloro forma iones negativos, las propiedades del Cl y Cl⁻ son las mismas, es el mismo elemento.

Los ítems 5-10 pretenden averiguar si los estudiantes saben representar la ionización completa del H₂SO₄ así como el significado que se atribuye al simbolismo usado en dicha representación. Un 46% de estudiantes escribe correctamente la ionización completa del ácido sulfúrico (ítem 5), pero solamente un 17% indican que se producen 3 iones por cada molécula de ácido sulfúrico ionizada (ítem 6). El porcentaje de respuestas incorrectas en el ítem 6 es del 37%, la mayoría de ellas señalan dos iones (H⁺ y SO₄²⁻), quizás el estudiante esté confundiendo la clase de iones (dos en este caso) con el número de los mismos. El porcentaje de respuestas en blanco para este ítem llega a ser casi la mitad de la muestra (46%).

Los ítems 7-10 presentan porcentajes muy bajos de respuestas correctas: 17% (Cuántos átomos tiene el ion sulfato); 32% (Cómo están unidos los átomos en el ion sulfato); 22% (Cuál es la carga eléctrica en el ion sulfato) y 10% (A quién pertenece la carga en el ion sulfato), respectivamente. Los porcentajes de respuestas en blanco son también muy altos (68%, 61%, 66% y 81%, respectivamente). La mayor dificultad se presenta, como muestran los resultados, en el

último ítem. Un 9 % de estas respuestas erróneas señalan lo siguiente:

La carga eléctrica (2-) pertenece al oxígeno por ser más electronegativo.

Estos resultados muestran que aproximadamente la mitad de estudiantes sabe escribir el ion sulfato pero son pocos los que saben que significa cada uno de los índices del simbolismo utilizado (cuántos átomos tiene, como están unidos, cuál es la carga y a quien pertenece).

5.3 Resultados obtenidos al aplicar la entrevista (E1) diseñada sobre disociación iónica

Para profundizar en el pensamiento del estudiante y contrastar los resultados obtenidos en el cuestionario Q2, se elabora una entrevista E1, estructurada con tres preguntas de contenido similar a alguno de los ítems de Q2. Se aplica a 28 alumnos de 2º de bachillerato.

Entrevista E1 sobre disociación iónica:

1. ¿Qué es para ti, un ion sodio positivo, Na⁺, y un ion cloruro negativo, Cl⁻?
2. Supongamos que se tiene una disolución acuosa de ácido sulfúrico (H₂SO₄) en un tubo de ensayo. ¿Qué tipo de partículas (átomos, moléculas o iones) existirían en la disolución?
3. ¿A quién pertenece la carga en el ion sulfato SO₄²⁻?

El 85% de los alumnos entrevistados responden incorrectamente confundiendo átomo con ion en la pregunta 1, como se muestra en el siguiente ejemplo:

Miguel	Pues un ion sodio positivo es aquél que ha perdido un electrón, el único electrón en su última capa y por tanto se ha cargado positivamente y el ion cloruro se ha cargado negativamente, porque su última capa tiene 7 electrones y le faltaría uno para completar hasta 8.
--------	--

Este estudiante habla del ion sodio positivo, pero se está refiriendo en realidad al átomo de sodio y lo mismo se puede decir acerca del ion cloruro.

Con un resultado parecido al encontrado en el ítem 5 (Tabla 2), solamente el 46% de los estudiantes entrevistados escriben correctamente la ionización completa del H_2SO_4 . Algunas de las respuestas erróneas más frecuentes son las siguientes:

Mar: $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{SO}_4^{2-}$

Laia: $\text{H}^+ + \text{SO}_4^-$ Hay hidrógenos y iones sulfato

Alejandro: $\text{H}_2^+ + \text{SO}_4^-$ Iones y habría agua

En todas estas respuestas los estudiantes utilizan la disociación más simple, esto es, dividir la molécula en dos iones uno positivo y otro negativo, sin tener en cuenta, unas veces, el principio de conservación del número de átomos (Laia) y, otras veces, el de electroneutralidad de las sustancias (Mar).

Sólo el 14% de los alumnos entrevistados contestan correctamente al afirmar que la carga en el ion sulfato pertenece a todo el ion. Este resultado es prácticamente el mismo que el obtenido en el ítem 10 del cuestionario Q2, en el que un 10 % de los estudiantes tenían éxito en esta misma cuestión. La mayoría de las respuestas erróneas atribuyen la carga a uno de las dos clases de átomos presentes en la fórmula del ion, como se muestra en los siguientes ejemplos:

Antonio: al azufre...al ion sulfuro

Alejandro: la carga negativa estará sobre el oxígeno ya que es más electronegativo que el azufre

Los estudiantes, en este caso, considerarán que la carga no es de todo el ion sino de uno de sus átomos y la argumentación que da uno de ellos es que la carga al ser negativa será del átomo más electronegativo.

Los resultados de la entrevista son convergentes con los del cuestionario Q2 y muestran que prerrequisitos como saber diferenciar átomo de ion no han sido adquirido por aproximadamente la mitad de los estudiantes entrevistados y cuando se pasa a ver las características estructurales de los iones sulfato, la mayoría de los estudiantes, al igual que sucedía en el cuestionario Q2, no saben ni siquiera cuántos átomos hay en estos iones.

5. Resultados obtenidos al aplicar los diseños sobre competencias en la relación entre propiedades de las sustancias iónicas y su interpretación microscópica

En este apartado presentamos, en primer lugar, los resultados encontrados en el cuestionario Q3 sobre disolución acuosa de sustancias y, en segundo lugar, los relativos a la entrevista E2 donde se pretende averiguar cómo explican los alumnos la conductividad de aquellas disoluciones.

5.1. Resultados del cuestionario (q3) sobre cómo se disuelven las sustancias iónicas y moleculares polares en agua

De acuerdo con los resultados anteriores, si los alumnos no han comprendido el concepto de ion, cabe esperar que los logros de aprendizaje relativos a la explicación de las propiedades ma-

croscópicas de estas sustancias iónicas con el modelo microscópico que se ha enseñado sean muy escasos.

En primer lugar, se ha preguntado a una muestra de 60 estudiantes cómo se disuelven las sustancias iónicas y

moleculares polares y para ello se ha aplicado el cuestionario Q3 que consta de 3 ítems.

Los resultados del cuestionario Q3 se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Porcentajes de respuestas obtenidas por los alumnos en el cuestionario Q3 sobre cómo se disuelven las sustancias iónicas y moleculares polares en agua (N=60).

Item N°	Respuestas correctas (%)	Respuestas incorrectas (%)	No contestan (%)
11. Explica cómo está constituido un cristal de KCl	32	27	41
12. Explica la disolución de KCl en agua	12	44	44
13. ¿El agua es un compuesto formado por iones H ⁺ y OH ⁻ ?	32	58	10

Los ítems 11 y 12 se proponen para averiguar si los estudiantes saben si una sustancia iónica está constituida por una gran cantidad de iones de distinto signo y cómo interpretan la disolución de sales en agua. En el ítem 11, un 32 % diferencia claramente átomo de ion, ya que dibujan átomos cargados para explicar como está constituido un cristal de KCl. Sin embargo, un 27 % en vez de iones dibuja círculos sin carga eléctrica tanto para el potasio como para el cloro (átomos), confundiendo átomos con iones. Llama la atención el porcentaje tan elevado, 41%, de estudiantes que no contestan. Era de esperar que el porcentaje de respuestas correctas disminuya drásticamente al 12 % en el ítem 12 cuando se les pide que expliquen el proceso concreto de disolución del mismo KCl. Un ejemplo de las respuestas consideradas correctas es la siguiente:

El agua se interpone entre los iones disminuye las fuerzas electrostáticas entre ellos y cada ion se rodea de moléculas

de agua mediante atracciones entre la carga del ion y el dipolo del agua, los iones se hidratan.

Un 12% de las respuestas casi correctas señala lo siguiente:

El agua se interpone entre los iones, aislandolos y quedando disueltos.

En este caso el estudiante no hace referencia a las interacciones electrostáticas que participan para explicar el proceso de la disolución, sólo describe que el agua se interpone entre los iones y concluye que estos iones se disuelven. El estudiante hace una transferencia de las propiedades macroscópicas de la sustancia (el cristal de KCl se disuelve) a las de los iones. Un 15% de alumnos presentan claramente la confusión entre átomo e ion, coherentemente con los resultados del ítem 11 (y de los ítems 3 y 4 del Q2) ya que siguen hablando de átomos en lugar de iones, como por ejemplo:

KCl forma una red cristalina y al disolverse sus átomos quedan rodeados de moléculas de agua.

El número de respuestas en blanco es muy elevado, ya que un 44 % no contestó. Este resultado es muy significativo, ya que los estudiantes han estudiado el proceso de disolución acuosa de las sustancias iónicas en el tema anterior (enlace químico) y, sin embargo, ha sido olvidado por casi la mitad de los estudiantes.

Sorprendentemente el porcentaje de respuestas correctas es sólo del 32% en el ítem 13 cuando se pregunta si el agua está compuesta por H^+ y OH^- . Un ejemplo de respuesta correcta es la siguiente:

El agua es una sustancia molecular, entre sus átomos hay enlace covalente.

La mitad de las respuestas incorrectas señala que:

El agua es un compuesto iónico, por lo tanto estará formada por H^+ y OH^- .

Tanto el KCl como el agua, son compuestos familiares para los estudiantes por el uso reiterativo de los mismos como ejemplos habituales en clase, el KCl como sólido iónico y el agua como líquido molecular. El estudiante asocia el agua con el equilibrio $H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$, sin darse cuenta del pequeño valor de la constante de este equilibrio y que, por tanto, el agua estará muy poco disociada.

5.2. Resultados obtenidos al aplicar la entrevista (e2) sobre la explicación de la conductividad eléctrica de disoluciones acuosas de ácidos, bases y sales.

Una segunda entrevista (E2) se aplica a 28 estudiantes para averiguar cómo

explican los estudiantes la conductividad eléctrica de disoluciones acuosas de ácidos, bases y sales. La entrevista E2, consta de cuatro preguntas sobre conductividad eléctrica de las disoluciones acuosas de sustancias iónicas. Los alumnos deben predecir primero si conducirán la corriente eléctrica las disoluciones de determinadas sustancias, después realiza la experiencia y finalmente explica lo que ha sucedido. Para ello, el alumno dispone de un montaje adecuado que consta de un vaso de precipitados, una bombilla, cables, un interruptor, electrodos y una fuente de tensión. A continuación se muestra el contenido de las preguntas de la entrevista realizada:

Entrevista E2

- 1) ¿Crees que el agua destilada conducirá la corriente eléctrica?
- 2) ¿Crees que el metanol conducirá la corriente eléctrica?
- 3) Ahora, vamos a hacer lo mismo, pero usaremos ácido sulfúrico (H_2SO_4). ¿Crees que el ácido sulfúrico conducirá la corriente?
- 4) ¿Qué pasará ahora en el circuito si disolvemos cloruro de sodio (NaCl) en agua?

El 82% de los alumnos entrevistados responden correctamente al afirmar que el agua destilada no conducirá la corriente eléctrica. Las explicaciones van desde que el agua es una sustancia molecular hasta los que señalan la ausencia de iones. La mayoría de las pocas respuestas incorrectas muestran la idea de que el agua no conduce porque no tiene electrones libres, como se muestra

en el siguiente párrafo de la entrevista a uno de los estudiantes:

Entrevistador: ¿Crees que el agua destilada conducirá la corriente eléctrica?

Sonia (Estudiante): cuando conectamos la pila y en el vaso tenemos agua destilada no circula la corriente eléctrica

Entrevistador: ¿Por qué?

Sonia: Pues que en el medio no hay electrones... que no se enciende la bombilla... que está apagada.

Observamos que aparece la fijación funcional del mecanismo utilizado en los conductores metálicos y, según el cual, se asocia la conductividad de las sustancias a los electrones libres independientemente del tipo de sustancia de que se trate. El 64% de los alumnos entrevistados responden correctamente que el metanol no conduce la corriente eléctrica, pero sólo un 15% de estos estudiantes señalan que no lo hace por ser una sustancia molecular que al disolverse en agua no se ioniza, los restantes no contestan tal vez porque no saben justificar su respuesta. La mitad de las respuestas erróneas muestran una argumentación similar a la que se muestra en el siguiente párrafo de la entrevista a uno de los estudiantes:

Entrevistador: ¿Crees que el metanol conducirá la corriente eléctrica?

Mar (Estudiante): Bueno, si que conduce

Entrevistador : ¿Por qué?

Mar: Es un compuesto iónico y está disociado y al disociarse los electrones están libres y conducen la corriente”.

Entrevistador: ¿Como se disocia el metanol?

Mar: $\text{CH}_3^+ + \text{OH}$

Como se puede ver en este argumento, por un lado, el estudiante afirma que el metanol es una sustancia iónica y lo disocia como una base. Por otro lado, aparece de nuevo la idea de que la causa de la conductividad eléctrica de los electrolitos en agua se debe a electrones libres que se han formado al disociarse esta sustancia.

Una mayoría (75%) de los estudiantes entrevistados responden correctamente que la disolución de ácido sulfúrico conducirá la corriente eléctrica. A continuación reproducimos un fragmento de uno de los diálogos establecidos entre el entrevistador y un estudiante que opina lo contrario:

Entrevistador: Ahora usaremos ácido sulfúrico en agua destilada ¿Crees que pasará la corriente?

María: Yo creo que no

Se realiza el experimento, y la bombilla del circuito se enciende.

Entrevistador: ¿Por qué se ha encendido?

María: Sí, el ácido sulfúrico con agua se disocia en iones, los iones podrán conducir. O sea, al disociarse podrá conducir la corriente.

Como se muestra en el diálogo, el estudiante que se había equivocado, al efectuar el experimento y observar que la bombilla del circuito se encendía en la disolución de ácido sulfúrico, modificó su afirmación y rectificó.

El 68% de los estudiantes entrevistados responden que la disolución acuosa de NaCl conducirá la corriente eléctrica, y más de la mitad (52%) la atribuyen a la existencia de los iones en disolución sin dar una explicación correcta del meca-

nismo de la conductividad eléctrica, tal como se muestra en el este fragmento de la siguiente entrevista:

Mar: El NaCl se disocia en agua en sus iones, y estos conducirán la corriente eléctrica

Entrevistador: ¿Puedes explicar esto?

Mar: Iones...electrones van desde el electrodo negativo al positivo y el ion Na y el ion Cl interactúan, pero no sé exactamente cómo.

Entrevistador: ¿Qué pasa con los iones?

Mar: Cuando los iones son oxidados o reducidos se producen electrones y se cierra el circuito. El átomo de sodio va hacia el electrodo negativo y el de cloro al electrodo positivo.

Esta estudiante habla del átomo de sodio cuando se está refiriendo al ion sodio positivo y lo mismo se puede decir respecto al átomo de cloro. La estudiante confunde átomo con ion. Más de la mitad de las respuestas incorrectas argumentan de forma similar a como se muestra en el siguiente párrafo de la entrevista a uno de los estudiantes:

Entrevistador: ¿qué pasará ahora en el circuito si disolvemos cloruro de sodio (NaCl) en agua?

Julio: endisolución, el cloruro de sodio se disocia en los iones cloruro y en los iones sodio. Entonces los electrones ya están libres y conducen la corriente”.

De nuevo transfieren el modelo de conductividad eléctrica de los metales al de la conductividad eléctrica de las disoluciones de sustancias iónicas. Garnett y Treagust (1992) razonan las dificultades de estudiantes preuniversitarios sobre circuitos eléctricos y reacciones redox

en base a un solapamiento de lenguajes cotidiano y científico cuando dicen que los alumnos mal interpretaron la frase:

...“he ions carry the charge”.....when referring, for same way that a suitcase is carried. They interpreted “carry” to mean that the electron is picked up it one electrode, carried piggy-back fashion to the other electrode and then deposited or removed in the oxidation process.

Según los resultados de nuestro trabajo la explicación no estaría en una equivocación terminológica sino en un problema semántico más profundo. En el fondo los alumnos saben que en el circuito externo a la cubeta han de pasar electrones libres como en cualquier hilo metálico del circuito pero no saben qué es un ion y cual es el sentido de su carga eléctrica y, por tanto, desconocen su relación con el electrón. Para ellos existe cierta confusión entre átomos y iones como se constata en este trabajo. Reconocen que ambos pueden tener electrones -unidades elementales más simples que los átomos- y utilizan el modelo simple de transferencia electrónica de los conductores de primera especie (los átomos de los metales tienen electrones libres que son los que se transfieren).

Conclusiones e implicaciones didácticas

La falta de algunas competencias en la conceptualización macroscópica y microscópica y en la relación entre ambas (expuestas en el Cuadro 3) sobre el comportamiento ácido-base de las sustancias podría explicar determinadas dificultades de aprendizaje, como vamos a exponer a continuación:

1. La mayoría de estudiantes conocen el significado de la disociación iónica de las sustancias en disolución acuosa, pero tienen dificultad para aplicar el conocimiento teórico sobre si esta disociación es posible o no.
2. Al no diferenciar, a partir de sus propiedades, una sustancia iónica de otra que no lo es, los estudiantes tienen dificultades para clasificar como ácido o como base determinadas sustancias. Esto, por ejemplo, les lleva a señalar el agua como sustancia iónica (50%).
3. Al no disponer de referentes empíricos, el estudiante recurre a la fórmula de la sustancia para derivar a partir de ella su comportamiento ácido-base al disolverla en agua. Como en la fórmula no se diferencia entre átomos (o grupos de átomos) e iones, se asocia directamente la existencia de H o OH en aquella con reacción ácida o básica de la sustancia representada (véase el bajo porcentaje de aciertos para la metilamina, 25%).
4. El significado que se atribuye a cada uno de los símbolos y dígitos existentes en la fórmula de un ion poliatómico no es asumido totalmente por los estudiantes, a algunos les lleva a asociar la carga del ion poliatómico al átomo más cercano que hay representado en la fórmula que generalmente suele ser oxígeno, el más electronegativo.
5. Uno de cada tres estudiantes no diferencia entre ion y átomo de un elemento, como consecuencia tienen dificultades para interpretar las propiedades macroscópicas de las sustancias iónicas (por ejemplo, del KCl) disueltas en agua (44% responde incorrectamente).
6. La mayoría de estudiantes entrevistados conocen que las disoluciones acuosas de las sustancias iónicas conducen la corriente eléctrica pero no saben explicarlo. Un tercio de ellos piensa que el NaCl se disuelve en agua formando iones pero que son los electrones libres en la disolución los que conducen la corriente.
7. Los estudiantes no saben diferenciar los procesos de disociación (de sustancias iónicas cuando se disuelven en agua), ionización (de sustancias moleculares polares en agua), como consecuencia de no distinguir una sustancia iónica de una sustancia molecular polar, a partir de sus entidades constituyentes. Tampoco saben diferenciar entre neutralización de ácidos y bases e hidrólisis de sales como ya se indicó en el trabajo de Furió et ál., 2000.
8. Los estudiantes confunden los modelos de conceptualización macro y micro cuando tratan de explicar una propiedad. Por ejemplo un 25% atribuye propiedades macroscópicas a un átomo o a un ión.

Estos resultados aportan evidencias de la no comprensión de los estudiantes acerca del comportamiento y reacciones ácido-base de las sustancias. La mejora de la enseñanza y el aprendizaje de la química implica, entre otras cuestiones, la necesidad de que el profesor conozca bien la materia a enseñar y, en particular, como se han presentado y solucionado los problemas científicos en la historia y epistemología de la Química. Además los profesores deberían utilizar estrategias eficientes que han sido desarrolladas en la enseñanza de las ciencias, en este sentido hay proyectos que intentan favorecer la comprensión

científica de los estudiantes desarrollando competencias (conocimientos y habilidades) para “hacer ciencia” (Gil, 1994; Furió 2001).

Finalmente, los estudios sobre progresión del aprendizaje científico en dominios específicos han sido destacados como un área de investigación científica con importantes implicaciones didácticas. Esto requiere una reflexión cuidadosa de la forma en la que un currículo

debe estructurarse para favorecer su asimilación (Taber, 1995; Gabel, 1999). Este currículo debería tener en cuenta los prerrequisitos necesarios para construir teorías más complejas a partir de los modelos elementales aprendidos, en la secuenciación de contenidos. El proceso de enseñanza debería tener en cuenta esto para lograr una progresión de los estudiantes en el aprendizaje de los conceptos científicos. ▲

Referencias

- Adey, P. (1997). Dimensions of progression in a curriculum. *The Curriculum Journal*. 8 (3), 367-391.
- Chang, R. (1994). *Química*, 4 ed.; McGraw-Hill; México; 499-540, 635-716.
- Cross, D (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases, *European Journal of Science Education*. 8(3), 305-313
- De Vos, W and Pilot, A. (2001). Acids and bases in layers: The stractal structure of an ancient topic. *Journal of Chemical Education*, 78 (4), 494-499.
- Drechsler, M. and Schmitd, H. (2005). Textbooks' and teachers' understanding of acid-base models used in chemistry teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, 6, 19-35.
- Duschl. R. y Gitomer, D. (1991). Epistemological Perspectives on conceptual change: implication for educational practice, *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), 839-858
- FURIÓ-MÁS, C., HERNÁNDEZ J. & HARRIS H.H. (1987) Parallels between adolescents' conception of gases and the history of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64, 616-618.
- Furió, C., Calatayud, M.L. y Bárcenas S. (2000) Deficiencias Epistemológicas en la Enseñanza de las Reacciones Ácido-Base y Dificultades de aprendizaje. *TEA (Tecné, Episteme y Didaxis)*, 7, 5-21.
- Furió, C. (2001). La enseñanza-aprendizaje de las Ciencias como investigación: Un modelo emergente. En Guisasola, J., Pérez de Eulate, L. (Eds.). Bilbao: *Investigaciones en Didáctica de las Ciencias Experimentales Basadas en el Modelo de Enseñanza-Aprendizaje como Investigación Orientada*; Servicio Territorial de la Universidad del País Vasco, pp15-47
- Furió-Más, C., Calatayud, M.L, Guisasola, J. y Furió-Gómez, C. (2005). How are the concepts and Theories of Acid-base reactions Presented? Chemistry in Textbooks and as Presented by Teachers. *International Journal Science Education* 27, 1337-1358.
- Gabel, D.L. (1998). The complexity of chemistry and implications for teaching. En Fraser, B. and Tobin, K. (Eds) *International Handbook of Science Education*. London: Kluwer Academic Press

- Gabel, D.L. (1999). *Journal Chemical Education* 76, 548-553
- Garnett, P.J. y Hackling, M. (1995) Students' alternative conceptions in Chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- Garnett, P. J. y Treagust D.F. (1992). *Journal of Research in Science Teaching*. 29. 121-142.
- Gil-Pérez D. (1996). New Trends in science education. *International Journal of Science Education*. 18(8), 889-901.
- Gil, D. y Carrascosa, J. (1994) Bringing pupils' learning closer to a scientific construction of knowledge: a permanent feature in innovations in science teaching. *Science Education*, 78 (3) 301-315.
- Hodson, D. (1992). *Science Education* 1, 115-144.
- Kotz, J.C. y Purcell, K.F. (1991) *Chemistry and Chemical Reactivity*. (2nd ed., 1991), 753-775. Saunders College Publishing, Philadelphia, USA.
- Moore, J.W., Stanitski, C.L, Wood, J.L., Kotz, J.C. y Joesten, M. D. (1998) *El mundo de la química. Conceptos y aplicaciones*, (2º edición, 2000), 765-811. Addison Wesley Longman: México. (Translation of 'The chemical world: concepts and applications', 1998. Harcourt Brace and Co: Orlando: Florida).
- Mortimer, E (1995). Conceptual change or a conceptual profile change? *Science Education*, 4, 267-285.
- Nakhleh, M.B. (1992) Why Some Students Don't Learn Chemistry? *Journal of Chemical Education*, 69,191-196.
- Nakhleh, M.B. y Krajcik,J.S. (1994). Influence of Levels of Information as Presented by Different Technologies on Students' Understanding of Acids, bases and pH concepts. *Journal of Research in Science Teaching*. 31 (10), 1077-1906.
- Ross, B. y Mumby, H. (1991) *International Journal of Science Education*. 13, 11-23
- Schmidt H.D. (1991) A label as a hidden persuader: Chemist neutralization Concept. *International Journal of Science Education*. 13 (4), 459-471.
- Taber, K.S. (1995). An Analogy for Discussing Progesion in Learning Chemistry. *Science School Review*, 76 (276), 91-95.
- Tan, K.C.D. ; Goh, N.K.; Chia L.S. y Treagust, D.E. (2004). Major Sources of Difficulty in students' Understanding of Basic Inorganic Qualitative Analysis. *Journal Chemical Education* 81, 725-732.
- Treagust, D. Duit, R. y Nieswandt, M. (2000). Sources of students' difficulties in learning Chemistry. *Educación Química*, 11(2), 228-234.
- Vidyapati, T.J. y Seetharamappa, J. (1995) *School Science Review*., 77, 82-84.
- Wandersee, J.H.; Mintzes, J.J. y Novak J.D. (1994). Research on alternative conceptions in science. En D.Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: MacMillan Publishing Co, 177-210.
- Zoller, U (1990) *Students' misunderstanding and misconceptions in college freshman Chemistry* (General and Inorganic), *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (10), 1053-1065.