

# LA NEUTRALIZACIÓN ÁCIDO-BASE A DEBATE

JIMÉNEZ LISO, M. RUT<sup>1</sup>, DE MANUEL TORRES, ESTEBAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad de Almería. 04120 La Cañada de San Urbano. Almería

<sup>2</sup> Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Granada. Campus de Cartuja. 18071 Granada

---

**Resumen.** La *neutralización* es un término que puede tener distintos significados según nos situemos en un contexto físico, químico o cotidiano. Esta polisemia también aparece en el ámbito de los procesos ácido-base y parece ser el origen de algunas concepciones alternativas diagnosticadas en los estudiantes de secundaria y universidad. En este trabajo estudiamos los aspectos etimológicos, epistemológicos y didácticos de la neutralización ácido-base para fundamentar unas propuestas de enseñanza que faciliten el aprendizaje de este concepto y eviten inducir algunas de dichas concepciones alternativas.

**Palabras clave.** Neutralización, ácido-base, etimología, epistemología, didáctica.

**Summary.** The different meaning of neutralization depends of the context: Physics, Chemistry or Daily-Life context. Three definitions of neutralization were contemplated referring to the acid-base processes and it seems to be the origin of the alternative conceptions secondary school and university students have. The aim of this paper has been to identify the etymological, epistemological and educational aspects of acid-base neutralization to proposed teaching strategies to help students with their difficulties in this concept.

**Keywords.** Acid-base neutralization, etymologic, epistemologic, chemical education.

---

## INTRODUCCIÓN

La ciencia en general, y la química en particular, utiliza términos que le son propios, como *catálisis* o *electroforesis*. Estos términos no suelen tener más significado que el que le confiere la comunidad científica y casi son de uso exclusivo del personal especializado, como los químicos, aunque, a veces, se extienden al lenguaje de la calle («catalizadores de una economía inflacionista», por ejemplo). Pero la ciencia también utiliza términos que no le son exclusivos y que pueden tener significados similares en el lenguaje vulgar y en el científico, como, por ejemplo, *sustancia*, *equilibrio* o *neutro*. Estos términos pueden tener varios significados y, en general, existe alguna relación entre la acepción científica y la vulgar.

En el primer caso, el aprendizaje del término, su significado y su uso, se realizan generalmente en una situación de enseñanza y se aplican en el contexto científico. En el segundo caso, cuando un alumno se encuentra con el término en el aula, lo ha utilizado ya en el lenguaje

vulgar y, conscientemente o no, busca una semejanza entre el uso académico y el de cada día.

Cuando los científicos hablan entre ellos no incurren en dudas sobre el significado de los términos que son también de uso vulgar. Si un químico le dice a otro que «está realizando una neutralización parcial de un ácido con una base», su interlocutor no tendrá ninguna duda de lo que el colega intenta. Pero esa expresión oída por un alumno puede inducirle a error al producirse en él una traslación del significado vulgar al científico.

Precisamente las interferencias del lenguaje cotidiano con el contexto científico son el origen de muchas concepciones alternativas (Llorens, 1991), tales como dotar de propiedades perjudiciales para el organismo a cualquier ácido, identificar neutro con inocuo o con inerte, considerar que los ácidos son todos fuertes (Jiménez-Liso et al., 2000). Los distintos significados que se

atribuyen al término *neutralización* (cualquier reacción entre un ácido y una base, la reacción estequiométrica o exclusivamente la reacción entre un ácido y una base que conduzcan a un resultado final neutro) constituyen el origen de algunas concepciones alternativas de los alumnos de todos los niveles educativos; por ejemplo, muchos estudiantes universitarios consideran que el pH del punto de equivalencia de cualquier valoración ácido-base es 7, independientemente de las fuerzas relativas del ácido y de la base que reaccionan (De la Guardia, 1985; Jiménez-Liso, 2000).

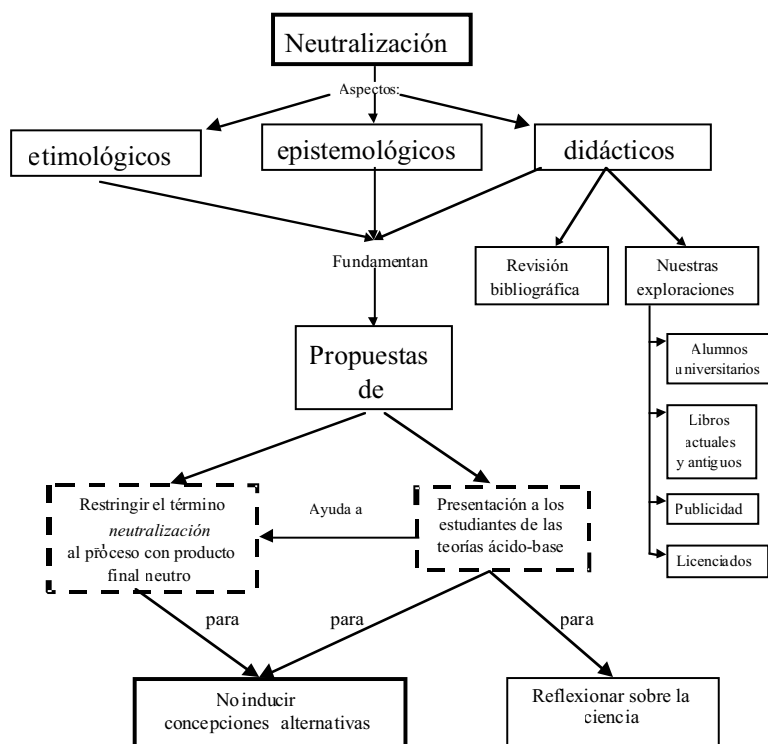
Este trabajo tiene como objetivo principal analizar los diferentes aspectos epistemológicos, etimológicos y didácticos relacionados con el concepto de la *neutralización* para exponer las dificultades que los estudiantes de secundaria y universidad pueden encontrar en este concepto y, desde ahí, elaborar estrategias de enseñanza que faciliten su comprensión. Por tanto, es una llamada de atención a los docentes de química de los niveles universitario y medio, para que pongan especial cuidado a la hora de utilizar en el aula estos conceptos y eviten inducir a concepciones alternativas considerando, para ello, los tres aspectos que se van a desarrollar en este artículo.

Para abordar todos los aspectos mencionados hemos comenzado con la revisión histórica del concepto de *neutralización* con el fin de contextualizarlo en cada teoría y estudiar así los significados que le otorga la comunidad científica actual. Estos significados serán

comparados con el sentido etimológico que se pondrá de manifiesto con el análisis de las definiciones que le atribuyen los diccionarios de la Real Academia Española de la Lengua y el de la Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. La revisión y el análisis de las investigaciones sobre el tema nos permitirán mostrar las implicaciones didácticas de aceptar un significado u otro.

Los aspectos de esa índole relacionados con este concepto se han deducido del diagnóstico desarrollado por nosotros, en los niveles educativos superiores (Jiménez-Liso, 2000). En esa fase exploratoria hemos estudiado: las concepciones de los alumnos universitarios y de los opositores al cuerpo de profesores de secundaria (especialidad física y química); los conceptos que utilizan los libros actuales y antiguos (éstos con más de cincuenta años, 1868-1944) de los niveles universitario y medio. Por último, también se han analizado los conceptos, relacionados con el tema, que utilizan algunos mensajes publicitarios para destacar cualidades beneficiosas de los productos que venden (Jiménez-Liso et al., 2000).

Los resultados obtenidos de estas exploraciones nos han permitido realizar un estudio comparativo y analizar si el origen de las concepciones alternativas que se manejan sobre este concepto hay que buscarlo en cuestiones epistemológicas, etimológicas o en la posible influencia de los textos y de la publicidad sobre los estudiantes. La siguiente figura muestra un resumen-organigrama de la secuencia de este artículo.



## REVISIÓN HISTÓRICA DEL CONCEPTO DE NEUTRALIZACIÓN

El desarrollo histórico del concepto de *neutralización* está ligado al descubrimiento y la utilización a través de la historia de los ácidos y de las bases así como de la clasificación de las sustancias como ácidos o como bases utilizando fenómenos observables. No se puede estudiar la neutralización ácido-base sin comprender qué se entendía por *ácido* o por *base* en cada momento histórico.

Los productos que ahora consideramos como ácidos y como bases se conocen desde la antigüedad como así lo ponen de manifiesto algunas recetas prácticas encontradas en papiros de la cultura helenística (en Estocolmo y en Leiden). A pesar de que no se hacía ninguna interpretación de lo que ocurría en los procesos que se describen, en estas recetas sí se utilizaban el vinagre y los zumos de frutas como disolventes de ciertos metales, y se conocían algunas sales como la sal común, el carbonato de sodio, el sulfato de hierro, etc.

Durante la edad media, concretamente en el mundo árabe, también se utilizaron recetas de tipo práctico como, por ejemplo, la de *al-Razi* en la que aparece la primera clasificación en la cual se engloban varias sustancias atendiendo a cualidades semejantes, aunque no puede tomarse como una interpretación de los hechos que exponen.

A lo largo del siglo XIII, en el Occidente cristiano, como consecuencia del perfeccionamiento en las técnicas alquimistas, concretamente de la destilación, se obtuvieron los ácidos minerales. Con su descubrimiento, los químicos pudieron disolver más sustancias y realizar más reacciones en disolución que con los ácidos orgánicos que hasta entonces se utilizaban. Pero, a pesar de que se perfeccionaron las técnicas, se utilizaron un mayor número de ácidos minerales y con ellos se aumentaron los procesos en los que participaban, no llegó a interpretarse teóricamente qué ocurría en esos procesos ni la naturaleza de las sustancias descubiertas.

Con respecto al concepto de *neutralización* hay que iniciar la revisión histórica en el mundo antiguo. A pesar de que no se hablaba de reacciones, ni de ácidos, ni de bases, sí se manejaba el concepto filosófico de los contrarios y el concepto de *intermedio* era representado por el número místico tres. En esta línea también Heráclito de Éfeso (s. VI aC) interpretó que la lucha de los opuestos era la armonía, aunque, según este autor, para conseguir la armonía, no desaparecían los contrarios.

Esta misma idea aparece en la primera interpretación sobre la neutralización que corresponde a un médico de Caen de 1672:

«Las puntas de los ácidos son tan conformes, en figura y dimensiones, con los orificios de los álcalis, que los llenan exactamente, de tal modo que un nuevo ácido no encuentra ya ningún poro vacío que pueda detener su movimiento; este ácido actúa entonces con tanta violencia, que separa las unas de las otras partes integrantes en

esos cuerpos, empuja unas de un lado, otras de otro y no deja de removerlas y agitarlas hasta que lo separa de ellas.» (Taton, 1988)

*Lémery*, otro químico muy influyente de la época, considera la neutralización como la reacción entre los álcalis y los ácidos, en cuyos poros penetran las púas de estos últimos, rompiéndose o embotándose y dando así origen a las sales neutras. Lo que parece una simple reflexión sobre la naturaleza de los ácidos, las bases y las sales representa, sin embargo, un intenso debate que se estableció en este siglo y que enfrentaba a los que afirmaban que el ácido era el agente único o universal, frente a los que defendían el antagonismo entre ácido y álcali. Entre éstos últimos, *Boyle*, definía los ácidos por su efervescencia en contacto con los álcalis o viceversa. El debate se resolvió a favor de éstos al demostrar *Boyle* que los ácidos podían descomponerse y que un gran número de cuerpos no contenían ningún ácido, por lo que no podía constituir un agente universal. A este autor se debe la primera clasificación de ácidos y bases basada en fenómenos observables (ser corrosivos, disolver metales, reaccionar con ácidos o con bases, el color de las disoluciones ácidas o básicas con indicadores como el licor de violetas, etc.).

Como se ha indicado en párrafos anteriores, durante siglos se produjo una acumulación preteórica de conocimientos químicos (utilización de ácidos, clasificación de las sustancias ácidas y básicas, perfeccionamiento de los trabajos prácticos, etc.). Ello condujo a que en el siglo XVIII se utilizara la neutralización como la reacción entre un *ácido* y una *base* para formar *una sal* (estos tres términos definidos según sus propiedades observables descritas por *Boyle*). La utilización de este término se aplicó tanto a las soluciones acuosas como en la fabricación de vidrios donde reaccionaban tierras ácidas con otras básicas a altas temperaturas.

Con la introducción de un cuerpo teórico de conocimientos (la química del siglo XIX), se buscó explicación a estos procesos. Por ejemplo, desde la teoría de la disociación iónica de *Arrhenius* (1887) se interpreta la neutralización como la combinación de los iones hidrógeno e hidróxido para formar agua. *Arrhenius* relacionó las propiedades de los ácidos con la presencia de iones hidrógeno libres y las de las bases con los iones hidróxido; un producto neutro sería aquél que no cediera iones hidrógeno ni hidróxido. En esta teoría se establece una escala absoluta de clasificación de las sustancias como ácidas, neutras o básicas según la constante de su disociación electrolítica.

La forma de presentación clásica de las teorías ácido-base a los estudiantes universitarios y de secundaria consiste en exponer la definición de lo que cada una entiende por *ácido*, por *base* y por *neutralización*; este último concepto entendido como proceso que transcurre cuando se ponen en contacto los ácidos y las bases: según las teorías ionotrópicas (o teoría de los disolventes, inspirada en los postulados de *Franklin*, 1912), las sustancias se clasifican como «cationotrópicas» o «anionotrópicas» según el ion que se transfiera. Así, en un

sistema anionotrópico, los ácidos se definen como «aceptadores» de aniones y las bases como «dadoras» de aniones y, por el contrario, en un sistema cationotrópico las bases son las que aceptan los cationes y los ácidos los que los ceden. La neutralización, según la teoría de los disolventes, es la combinación del anión característico del disolvente con el catión característico del disolvente para formar éste.

En 1923, *Brönsted* y *Lowry* definen los ácidos como las especies que tienen tendencia a donar protones y las bases como las especies capaces de aceptarlos. La neutralización según esta teoría es la transferencia de un protón de un ácido a una base en cualquier disolvente. La formación de sales también está incluida dentro de los procesos ácido-base porque conlleva la transferencia de un protón desde un ácido a una base. Para *Brönsted-Lowry* ya no hay una clasificación absoluta de acidez, neutralidad o basicidad. Según esta teoría, la fuerza de un ácido se mide por la mayor o menor tendencia a donar un protón y la fuerza de una base por su mayor o menor tendencia a captarlo. Cuantitativamente se mediría por el grado en que los reaccionantes se convierten en productos, pero el grado de esa reacción depende tanto de la tendencia de un ácido a ceder un protón como la de la base a aceptarlo, es decir, son medidas relativas y la única manera de comparar las fuerzas de dos ácidos es tomando como referencia una *misma* base, que será el agua para reacciones en disolución acuosa.

También en 1923, *Lewis* propone una teoría cuyos postulados llevan a la conclusión de que la neutralización consiste en la formación de un enlace coordinado entre la base que cede el par de electrones y el ácido que los acepta. Esta definición tampoco ofrece un criterio absoluto de clasificación de una sustancia como ácida, neutra o básica sino que siempre dependerá de la/s sustancia/s con las que se compare.

En 1939, *Lux* y *Flood* definieron como *base* toda sustancia capaz de ceder iones óxido y como *ácido*, las sustancias capaces de aceptarlos. Tanto la teoría de *Brönsted-Lowry* como la de *Lux-Flood* son dos casos particulares de las teorías «ionotrópicas», es decir, definiciones de ácidos y bases basadas en los procesos de transferencia de iones, protones en el primer caso e iones óxido en el caso de *Lux-Flood* (Moeller, 1988).

En este mismo año, *Usanovich* (1939) define los ácidos como las sustancias que forman una sal con las bases por un proceso ácido-base, que da cationes o que se combina con los aniones o con los electrones. De forma similar, las bases son las sustancias que reaccionan con los ácidos, que dan aniones o electrones o que se combinan con los cationes. Hay que destacar que en esta teoría se incluyen todos los procesos ácido-base posibles: transferencia de protones, de otros iones (los del disolvente, iones óxido, iones hidroxilo, etc.) o de electrones.

La revisión histórica que acabamos de presentar muestra las modificaciones que han sufrido las definiciones de ácido, base y neutralización según las diferentes teorías al uso. Una amplia revisión del desarrollo

histórico que han sufrido los conceptos relacionados con los procesos ácido-base, en la que se incluyen todas las teorías y los límites de aplicación, la ofrece Moeller (1988, pp. 623-657).

## NEUTRALIZACIÓN: ASPECTOS ETIMOLÓGICOS

En el apartado anterior hemos expuesto las distintas interpretaciones de la neutralización en el nivel teórico-molecular. A continuación, atenderemos a su significado etimológico. El término *neutro* procede de la acepción latina *neuter, neutra, neutrum* (ni lo uno ni lo otro). Éste es el significado que se le concede en el contexto cotidiano. Cualquier utilización posterior de este término y de sus derivados (infinitivo: *neutralizar*; gerundio: *neutralizando*; sustantivo de acción: *neutralización*, etc.), desde contextos científicos o no, debería respetar su etimología. Es decir, no sería deseable utilizar un término, en el marco de una teoría científica, adjudicándole significados que pongan en contradicción el sentido etimológico. En el caso concreto de los ácidos y de las bases, la acumulación preteórica de conocimientos químicos condujo a una definición de neutralización funcional y operacional (nivel macroscópico) basada en el significado etimológico; es decir, la neutralización se producía cuando, al poner en contacto una sustancia que manifestaba propiedades ácidas (ser corrosivos, disolver metales, reaccionar con bases, el color en presencia de indicadores) con otra con propiedades básicas, el resultado final no manifestaba esas propiedades, o sea, se obtenía un resultado neutro. Por todo ello, sería contradictorio admitir que el resultado final de una neutralización pueda ser ácido o básico.

Si aceptamos la necesidad de no contradecir el significado etimológico, es necesario restringir la utilización del término *neutralización* a los procesos entre ácidos y bases que conduzcan a un resultado final neutro (circunscribiendo por ácido, base, neutro y el proceso que se desarrolle a lo que, como tales, entienda cada teoría). Esta restricción del término responde a su etimología y está avalada por la existencia, en química, de términos específicos para cada situación, con lo que se puede distinguir entre:

– *proceso o reacción ácido-base*, que correspondería a cualquiera de las reacciones previstas en las teorías ácido-base al uso, independientemente del grado en que se den y del resultado final;

– *reacción estequiométrica*, que sería la que tiene lugar equivalente a equivalente (conduzca o no a un resultado final neutro);

– *reacción de neutralización*, que se reservaría para los procesos que conducen a un resultado neutro aunque, para ello, no se dé la estequiometría, y con independencia de los grados de disociación de los ácidos y de las bases que intervengan. Estas reacciones, por tanto, constituirían un caso particular de los procesos ácido-base.

Por tanto, al restringir de esta forma el término *neutralización*, se pone en consonancia el significado etimológico con el fenomenológico (nivel macroscópico) y así se evitará inducir algunas concepciones alternativas provocadas por la interferencia del lenguaje cotidiano en el científico, pues se unificará el significado de la neutralización en ambos contextos. ¿Qué posición se toma desde el nivel teórico? ¿Qué interpretación teórica no contradice ni la etimología ni los fenómenos observables?

En las teorías ácido-base se busca interpretar (nivel teórico) los fenómenos observables: la teoría de *Arrhenius* lo hace con la neutralización desde la teoría de la disociación iónica. Por un lado, el hecho de admitir que la neutralización conduce a un resultado final neutro, desde la teoría de *Arrhenius*, no restringe este proceso a las reacciones de ácidos fuertes con bases fuertes, pues permite hablar de neutralización cuando un ácido fuerte poliprótico reacciona con una base fuerte monohidroxilada o cuando un ácido débil reacciona con una base fuerte, siempre que lo hagan en cantidades tales que el resultado final sea neutro. Hay que aclarar que todos los conceptos utilizados (*ácido*, *base*, *fuerza*, *neutro*, *proceso ácido-base*, etc.) deben ser definidos dentro de la teoría que se está utilizando para dar significado a la neutralización.

Por otro lado, ¿sólo se puede hablar de neutralización en disoluciones acuosas?, ¿qué teoría interpreta la obtención de un resultado neutro tras la reacción de tierras ácidas con otras básicas a altas temperaturas, utilizada desde la antigüedad para la fabricación de vidrios? Las teorías de *Lewis*, *Lux-Flood* o *Usanovich* permiten interpretar este fenómeno, es decir, se puede concebir la neutralización desde estas teorías siempre que se reduzca a la obtención de un resultado final neutro.

Para fundamentar este aspecto etimológico, se han tomado como fuentes las definiciones publicadas en los diccionarios de la Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1996) y de la Real Academia Española de la Lengua (1994). Según la RACEFN (1996), «neutralización es la adición de una disolución ácida a otra alcalina o viceversa hasta que la concentración de iones hidrógeno sea igual a la de iones hidróxido, es decir, hasta alcanzar un  $\text{pH} = 7$ ». La Real Academia Española de la Lengua (1994) define el término *neutro* como «el compuesto que no tiene carácter ácido ni básico y, por extensión, el líquido en que está disuelto», y *neutralizar* «es hacer neutra una sustancia o una disolución de ella». El espíritu de ambas definiciones coincide con la idea de que, al reaccionar un ácido con una base, se alcanza un punto en el que se han *neutralizado* las propiedades de ambos, de modo que el resultado es *neutro*.

Sin embargo, aunque el espíritu responda a la intención de no contradecir el sentido etimológico, la forma de expresión debe ser comentada: la Real Academia Española de la Lengua, al definir el término *neutro*, pretende ser coherente con el sentido etimológico «ni lo uno ni lo otro», pero define neutro como «compuesto que no tiene

carácter ácido ni básico». En las definiciones que aporta este diccionario se prescinde del contexto, aunque parece hallarse enmarcado en el nivel macroscópico. Además no hay que olvidar que una sustancia o compuesto no posee carácter ácido, básico o neutro en términos absolutos, puesto que depende de con qué sustancia (o compuesto) se la compare. Esta idea se enfatiza aún más en la definición de *neutralizar*: «hacer neutra una sustancia o disolución de ella». Una interpretación literal de esta definición llevaría a entender que las sustancias se pueden hacer ácidas, básicas o neutras sin cambiar de naturaleza, lo que se opone a las definiciones macroscópicas de sustancia («materia que tiene un conjunto de propiedades específicas») y de reacción química («proceso de transformación de una/s sustancia/s en otra/s diferente/s a la/s inicial/es»), por tanto, la Academia debería referirse a hacer neutro «un medio» y no «una sustancia». Estas aclaraciones tienen repercusiones sobre la enseñanza de estos conceptos, pues, como se expondrá en el presente artículo, los alumnos universitarios manifiestan el carácter absoluto de las propiedades ácidas o básicas de las sustancias.

En el caso de la definición proporcionada por el diccionario de la RACEFN (1996), se observa que, al hacer referencia al pH, se restringe la definición a las teorías de *Arrhenius* o de *Brønsted-Lowry* (disoluciones acuosas), limitando, de este modo, la validez del término a estas disoluciones. En párrafos anteriores, se ha clarificado que la aplicación del concepto de *neutralización* puede definirse según los productos obtenidos de reacciones en estado gaseoso o sólido en los que son aplicables las teorías de *Lewis*, *Lux-Flood* y *Usanovich*.

Con el objetivo didáctico de evitar la inducción de concepciones alternativas a los estudiantes universitarios y de secundaria, derivadas de otorgar un significado químico distinto del etimológico, consideramos que hay que poner especial cuidado al presentarles las teorías ácido-base definiendo lo que cada una interpreta como ácido, base o neutralización sin olvidarnos de indicar el proceso ácido-base que transcurre según cada teoría y de explicitar que la neutralización es un caso particular de ese proceso. Así se evita contradecir el significado etimológico al no poder incluir dentro de las reacciones de neutralización aquéllas que conduzcan a un resultado final ácido o básico.

### NEUTRALIZACIÓN: ASPECTOS EPISTEMOLÓGICOS

Teniendo presente el citado interés didáctico de evitar concepciones alternativas inducidas por poner en contradicción el significado químico de un término con su etimología, se ha destacado en el apartado anterior la necesidad de hacer coincidir ambos significados. A continuación, vamos a estudiar si esta propuesta, destinada a los docentes de química, posee algún inconveniente fundamentado en la epistemología de la ciencia.

Cualquier forma de exponer las diferentes teorías ácido-base lleva implícito un determinado punto de vista sobre la ciencia. Si las teorías sólo se presentan de la más restrictiva a la más general, indicando que una posterior da respuesta a los problemas (límites de validez) planteados por una anterior, se está ofreciendo exclusivamente una visión acumulativa lineal de la ciencia propia del inductivismo (Moeller, 1988, organiza las teorías de esta forma). Si se exponen los hechos observables como única base para que los científicos construyan la generalización (teoría), se estaría reduciendo la metodología científica a la característica del *empirismo*.

Las corrientes filosóficas *constructivistas* ofrecen una amplia gama de imágenes acerca de la ciencia para mostrarla como actividad humana sujeta a modificaciones. La utilización de las teorías ácido-base como instrumento para hacer reflexionar a los estudiantes universitarios de ciencias químicas sobre la *naturaleza de la ciencia* ha sido expuesta ampliamente en otro trabajo (Jiménez-Liso, 2000). En dicha propuesta se aprovechan algunos sucesos relacionados con estas teorías que permiten poner en conflicto la visión acumulativa:

– Por un lado, en el año 1923, tres científicos sin conexión entre ellos (*Brönsted*, *Lowry* y *Lewis*) proponen sus teorías, dos de ellas con bastante similitud (*Brönsted* y *Lowry*) y la de *Lewis*, muy diferente. Otra fecha que puede ser estudiada en este sentido es 1939, año en que *Lux* y *Flood*, de forma conjunta, desarrollan su teoría basada en la transferencia de iones óxido; al mismo tiempo, sin conexión alguna con los anteriores, *Usanovich* propone una teoría muy amplia que incluiría dentro de las reacciones ácido-base todos los procesos de la química inorgánica.

– Por otro lado, en 1912 *Franklin* preconiza una teoría mucho más general (teoría de los disolventes) que las propuestas por *Brönsted* y *Lowry* en 1923.

El análisis y discusión de éstos y otros hechos relacionados con estas teorías poseen como objetivo principal que los estudiantes universitarios de ciencias químicas, de los que saldrán los futuros docentes universitarios y de secundaria, alcancen una adecuada comprensión de estas teorías (y de sus límites de aplicación) y de cómo se construye la ciencia, en cuanto sirve como instrumento de reflexión y fundamentación de cualquier disciplina (Mellado y Carracedo, 1993).

Al observar las teorías ácido-base desde algunas corrientes filosóficas, no se puede afirmar que cada teoría constituya un paradigma kuhniano, más bien la teoría de *Brönsted-Lowry* parece una evolución (Toulmin) de la de *Arrhenius*. Sin embargo, ambas teorías pueden situarse dentro de un solo paradigma (química clásica) cuyos límites se encuentran en las disoluciones acuosas, intercambio de protones, etc., mientras que la de *Lewis* (intercambio de electrones, electronegatividad, etc.) habría que enmarcarla en el paradigma de la teoría electrónica que sí supuso una verdadera revolución en la química.

La epistemología proporciona criterios sólidos para evaluar la propuesta de identificar la neutralización ácido-base con su sentido etimológico. Atendiendo a los postulados de Kuhn (1971) no se pueden comparar los conceptos de diferentes teorías aunque utilicen el mismo término («incomensurabilidad entre diferentes teorías»). Si nos centramos en la teoría evolucionista de Toulmin (1969) tampoco podemos hablar en términos absolutos de validez de un concepto; es decir, la neutralización según la teoría de *Brönsted-Lowry* no puede significar lo mismo que en la teoría de *Lewis*, porque requiere un proceso diferente (intercambio de protones y electrones, respectivamente) y porque intervienen sustancias distintas, puesto que los términos *ácido*, *base* o *neutro* no significan lo mismo en una teoría que en otra.

Por este motivo, no se puede ofrecer una definición de *neutralización* que trascienda a todas las teorías ácido-base ni siquiera que abarque a las que se encuentran dentro de un mismo paradigma, pues habría que definir cada término y el proceso que transcurre según cada teoría. La idea que se plantea en este artículo no es proporcionar una sola definición de *neutralización* a los docentes de química, sino proponer que su empleo, en cada teoría, se refiera a la obtención de un resultado final neutro. Para ello, hay que definirla según los postulados de cada teoría: el proceso que transcurre, definición de ácido, de base, de neutro, etc. Así, si se admite que el término *neutralización* surge en un contexto preteórico para describir unos fenómenos observables (las propiedades de los ácidos y de las bases, después de ponerlos en reacción, dejan de manifestarse), es decir, si la neutralización surge en un nivel macroscópico, ¿debemos restringir el concepto a dicho nivel?

Las propuestas de que los docentes (universitarios y de secundaria) restrinjan la neutralización a su significado etimológico y que pongan especial cuidado a la hora de presentar a sus alumnos las teorías ácido-base (y en ellas lo que cada una interpreta como neutralización) no sólo están sustentadas desde la epistemología sino que tienen su origen en intereses didácticos: facilitar el aprendizaje de los conceptos relacionados con los ácidos y con las bases y evitar concepciones alternativas provocadas por la interferencia del lenguaje cotidiano en el lenguaje científico debidas al uso de polisemias de algunos términos, por ejemplo, *neutralización*.

Por todo esto, el objetivo de restringir tanto el concepto de *neutralización* se centra en el respeto por el significado etimológico, pero posee su fundamento en un interés didáctico. Se intenta evitar, por ejemplo, que los alumnos (incluidos los de los niveles superiores de universidad) atribuyan un resultado final de neutralidad (pH = 7) a cualquier valoración ácido-base (De Manuel, Jiménez-Liso y Salinas, 2000) y, por tanto, identifiquen el punto final de cualquier valoración con la neutralización, es decir, con la obtención de una disolución neutra.

A continuación, se mostrará una revisión de las investigaciones sobre el tema, realizadas por otros autores en la que se pondrá de relieve que los alumnos de secundaria y universitarios manejan concepciones alternativas so-

bre la neutralización y, por tanto, es necesaria una propuesta de enseñanza que facilite la comprensión de estos aspectos. Sus resultados se completarán con nuestro estudio exploratorio desarrollado en los niveles universitarios superiores, así como con las concepciones que manifiestan los futuros docentes de secundaria y los conceptos que utilizan los libros de ambos niveles educativos. Las concepciones alternativas de los estudiantes universitarios y de los licenciados (futuros docentes) que se van a poner de manifiesto sentarán las bases para justificar, de acuerdo con intereses didácticos, nuestra propuesta acerca de la neutralización aquí descrita.

### REVISIÓN DE LAS INVESTIGACIONES DIDÁCTICAS ACERCA DEL CONCEPTO DE NEUTRALIZACIÓN

Si se analizan las ideas que destacan los diversos autores sobre el concepto de *neutralización* se comprobará que lo que para unos constituye un error, por ejemplo, que los alumnos consideren que una reacción de neutralización sólo puede producir sales o una disolución neutra ( $\text{pH} = 7$ ), para otros es un acierto. Esta discrepancia es debida a los diferentes significados que se le otorgan al término *neutralización*, como ha sido comentado en el apartado anterior.

*De la Guardia y otros* (1985) trataron de detectar aquellos errores frecuentes en la consideración de las propiedades ácido-base de las sustancias químicas y de sus aplicaciones volumétricas. Pasaron un cuestionario anónimo con preguntas abiertas y de respuestas múltiples a alumnos de BUP, de magisterio y de diferentes cursos de la licenciatura en químicas. Encontraron que los alumnos asignaban el valor 7 al pH del punto de equivalencia en cualquier valoración ácido-base, incluso en 5º curso de la licenciatura en químicas, donde el 30% de los alumnos de la especialidad de Química Analítica daba eso por sentado.

Por otra parte, rastrearon en libros de texto de BUP y de COU y encontraron en ellos formulaciones equívocas o ejemplos simplistas que pudieran, al generalizarse por los alumnos, dar lugar a los errores observados. Este rastreo les reveló la presencia de abundantes ejemplos de neutralización de un ácido fuerte con una base fuerte y, tal vez, esto podría inducir a los alumnos a generalizar que en el punto de equivalencia el valor del pH siempre es 7.

*Zoller* (1990) aborda una revisión de los errores de comprensión, dificultades de aprendizaje y concepciones alternativas sobre algunos temas de química general y orgánica de alumnos de los primeros cursos de universidad. Este autor, al preguntar sobre la acidez o basicidad de disoluciones acuosas de sales ácidas o básicas, señala que el error más común es la idea que poseen los alumnos de que una sal se forma siempre por la neutralización de los ácidos con las bases dando especies neutras. En este artículo se propone una definición de neutralización equivalente a cualquier reacción entre un ácido y una

base, por lo que la obtención de un resultado neutro corresponde a un caso particular de estas reacciones.

*Ross y Munby* (1991) utilizan los mapas conceptuales, además de otras técnicas (cuestionarios de elección múltiple y entrevistas), para analizar las concepciones de alumnos de secundaria sobre los ácidos y las bases, al compararlos con el mapa conceptual construido tomando como base los mínimos que aparecen en el currículo oficial. Observaron que, en orden decreciente de dificultad, las subescalas son: iones, bases, neutralización, ácidos, pH y fenómenos cotidianos. Clasificaron los mapas y datos en dos casos abreviados: en uno de ellos, en el que se agrupan los estudiantes del nivel medio de realización en la clase, observan que el área del mapa conceptual que construyen es poco densa en lo que se refiere a la neutralización; los estudiantes nombran las bases (y nunca las sales) como producto de la neutralización. También destacan los preconceptos sobre iones; parece que los alumnos los asocian con la formación del enlace iónico. Se advierten errores, como el que se produzca gas en la neutralización de HCl y KOH. En el otro caso abreviado de mapa conceptual, destacan que los alumnos identifican el agua como producto de la neutralización pero no nombran la sal.

Para *Schmidt* (1991), el significado original del término *neutralización* equivalía a la reacción estequiométrica entre un ácido y una base. Según este autor, una vez descubierto el equilibrio químico, se comprobó que la reacción, equivalente a equivalente, no siempre conduce a un  $\text{pH} = 7$ . Dicho autor destaca el riesgo de emplear los términos *neutro*, *neutralización* con doble sentido: *estequiometría* y  $\text{pH} = 7$ ; se inclina por utilizarlo sólo en el primer sentido. De este modo, señala como error el hecho de que muchos estudiantes afirmen que una reacción estequiométrica (equivalente a equivalente) entre un ácido y una base siempre da lugar a una disolución neutra, que no contiene ni protones ni iones hidróxido, pues éstos reaccionan completamente para dar agua. A la vista de estas afirmaciones, *Schmidt* interpreta que tal vez los estudiantes expliquen este fenómeno mediante una compensación de cargas iónicas (positiva y negativa). Otro error que destaca es que los alumnos sólo consideran la neutralización como reacción entre ácidos fuertes y bases fuertes; no saben qué ocurre entre un ácido fuerte y una base débil o viceversa.

La explicación que ofrece el autor para esto es que la terminología usada conduce a error, como muestra en dos estudios posteriores (*Schmidt*, 1995, 1997) en los que hace una revisión de los errores producidos por la utilización de cuatro términos entre los que destaca el de *neutralización*.

*Nakhleh y Krajcik* (1994) analizaron los cambios en la comprensión de los alumnos de secundaria, por medio del análisis de los mapas conceptuales que los estudiantes construyeron durante las entrevistas semiestructuradas, antes y después de una serie de valoraciones con tres técnicas: indicadores ácido-base, pH-metro y MBL (*microcomputer based laboratory*). Para diagnosticar las relaciones aceptables de los mapas conceptuales de

los alumnos, entrevistaron a expertos y revisaron los libros más usuales delimitando su posición ante los conceptos que indagaron en los alumnos. Con respecto al concepto de neutralización definen claramente que, en el nivel macroscópico, la reacción de neutralización es la que se produce entre un ácido y una base para formar una sal. A continuación especifican que la obtención de agua ( $\text{pH} = 7$ ) es un caso particular de estas reacciones. Los resultados ponen de manifiesto cómo influyen los diferentes niveles de información que aportan las diferentes técnicas empleadas (indicadores, pH-metro y MBL) sobre los comentarios verbales y acciones de los estudiantes de secundaria (mapas conceptuales).

*Vidyapati y Seethramappa* (1995) estudian las ideas que manejan los alumnos de secundaria sobre los ácidos y las bases, por medio de entrevistas libres que les llevó al diseño de un cuestionario con preguntas abiertas y con algunos ítems de elección múltiple. Entre éstos se incluía uno en el que los alumnos debían contestar si es verdadero o falso que en la adición de una cantidad de un ácido cualquiera (en disolución acuosa) a la cantidad equivalente de una disolución acuosa de una base, se formaba agua y sal, el pH decrecía, se desprendía o absorbía calor, resultaba una disolución neutra o lo que ocurría era una neutralización.

De los resultados obtenidos en este ítem, los autores ponen de relieve que la mayoría de los estudiantes consideran que se produce una disolución neutra independientemente de que los ácidos o las bases sean fuertes o débiles. Con respecto al hecho de que los alumnos no están seguros de que la neutralización produzca desprendimiento de calor, los autores creen que se puede deber a que en las prácticas de volumetría se usan disoluciones diluidas.

*Bárceñas y otros* (1997) y *Bárceñas* (1999) estudian las principales dificultades que se encuentran los alumnos de bachillerato científico para que el aprendizaje de las reacciones ácido-base sea significativo. Como instrumentos de diagnóstico utilizan un cuestionario con preguntas abiertas y unas entrevistas personales, en las que se mostraban algunos fenómenos a 80 estudiantes de COU después de impartirse el tema de las reacciones ácido-base. Estas dificultades pueden deberse a carencias de la enseñanza. Para contrastarlo analizan el contenido de más de treinta libros de bachillerato y de universidad. Estos autores resaltan como principales dificultades las ideas previas de los alumnos y su carencia de criterios empíricos para clasificar un proceso químico como reacción de neutralización.

### **ESTUDIO EXPLORATORIO SOBRE EL CONCEPTO DE NEUTRALIZACIÓN**

Con el fin de analizar si los estudiantes universitarios y los licenciados en ciencias químicas manifiestan concepciones alternativas sobre la neutralización hemos

desarrollado un estudio exploratorio en estos niveles. También estudiamos el tratamiento que realizan los libros universitarios y de secundaria acerca de este tema y cómo utiliza la publicidad algunos conceptos relacionados con la neutralización. En este epígrafe, vamos a ofrecer el diseño experimental (instrumentos de análisis, muestras seleccionadas, etc.) y los resultados obtenidos de la indagación de cada muestra (alumnos, licenciados, libros y anuncios publicitarios).

### **Concepciones de los alumnos universitarios acerca de la neutralización**

Para el estudio empírico de las concepciones de los alumnos universitarios se ha diseñado una prueba semiaabierta de elección múltiple en la que se pedía que se justificara la opción seleccionada, compuesta de 16 ítems y con unos objetivos muy definidos (*Jiménez-Liso*, 2000). Así mismo permite realizar un estudio cuantitativo, con el añadido de que se pide a los alumnos que justifiquen sus respuestas de manera abierta, lo que nos dará la oportunidad también de realizar un análisis cualitativo de las concepciones utilizadas por estos alumnos. Los antecedentes bibliográficos e históricos (*Jiménez-Liso*, 2000) han orientado la selección de los conceptos que se analizan.

La prueba se sometió a la consideración de un grupo de expertos (profesores de algunos departamentos de Química Analítica y del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Granada) y se aplicó a un reducido grupo de alumnos universitarios con el fin de realizar una primera valoración cualitativa. Posteriormente, se aplicó a una muestra de 450 alumnos universitarios de todos los cursos (1<sup>o</sup>-5<sup>o</sup>) de la licenciatura de ciencias químicas de varias universidades españolas durante el curso 1997-98.

La revisión bibliográfica (*De Manuel, Jiménez-Liso y Salinas* 1998), histórica (*De Manuel, Jiménez-Liso y Salinas*, 1999a, 1999b) y de las teorías en uso plantearon la conveniencia de indagar sobre las definiciones de ácidos y bases que aplican los alumnos, sobre la desconexión que existe entre la teoría que aprenden y su aplicación práctica, sobre el concepto de *neutralización*, sobre la relación que los alumnos establecen entre el pH y la fuerza y la concentración de los ácidos, sobre el mecanismo de funcionamiento de los indicadores, sobre la fuerza de los ácidos y las bases (*Jiménez-Liso*, 2000).

### *Resultados sobre las concepciones de los alumnos acerca de la neutralización*

Los resultados que se van a mostrar en este apartado corresponden a los obtenidos en los dos ítems de la citada prueba que hacen referencia a la neutralización que, a continuación, reproducimos:

#### *Neut-1.*

Para que los seres humanos podamos ingerir algo, sin peligro, su pH:



- a) tiene que tener valores comprendidos entre 6 y 8;
- b) tiene que ser muy próximo a 7 (se toleran solamente variaciones de algunas décimas de pH);
- c) puede ser ácido y bastante diferente de 7 (por ejemplo, pH = 2,5);
- d) puede ser básico y bastante diferente de 7 (por ejemplo, pH = 11,5);
- e) otra respuesta.

Justifique la respuesta.

*Neut-2.*

El sabor ácido se debe a la presencia de iones  $H_3O^+$  en los cuerpos. Los cocineros saben que un fuerte sabor ácido en una salsa de tomate se corrige añadiendo azúcar (sacarosa); esto se basa en que:

- a) el azúcar neutraliza al ácido presente en el tomate;
- b) el azúcar desplaza el equilibrio del ácido y disminuye  $[H_3O^+]$ ;
- c) el azúcar enmascara, con su sabor, el sabor ácido del tomate;
- d) se produce una reacción nucleofílica entre el azúcar y el ácido del tomate;
- e) otra respuesta.

Justifique la respuesta.

En el primero de ellos (Neut-1), se indaga sobre qué alimentos se pueden ingerir sin peligro, según el valor del pH que posean. Los resultados cuantitativos de este ítem ponen de manifiesto que el 44% de los alumnos diagnosticados sólo bebería disoluciones con valores del pH comprendidos entre 6 y 8, el 24% considera que sólo pueden tener un valor del pH = 7 o pequeñas variaciones; tan sólo el 7% de los alumnos bebería sustancias ácidas con valores muy diferentes de 7, por ejemplo, pH = 2,5 (que es aproximadamente el pH de algunos refrescos).

Al analizar la mayoría de las justificaciones de los alumnos a este ítem, se observa que casi todos hacen referencia al organismo humano, para poner de manifiesto que éste tiene formas de «compensar alteraciones (pH = 6-8)» pero que no puede neutralizar la ingestión de ácidos o de bases. Es decir, se identifica pH = 6-8 con inocuo y se afirma que las sustancias con valores del pH fuera del intervalo citado producen daño para el organismo: *podemos tomar bebidas neutras (6-8) porque no hacen daño*, afirman en muchas respuestas. Por ejemplo, un alumno de 5º curso que considera que sólo podemos ingerir sustancias con valores del pH muy próximos a 7 indica que *las variaciones bruscas de pH producen daño en los tejidos*; y otro de 1r. curso señala que es dañino o peligroso hasta el extremo: *un pH ≠ 7 puede ocasionar*

*la muerte*; o no tan drástica, pero igualmente dañina, la idea de un alumno de 4º curso: *los ácidos (pH < 6) son perjudiciales, ya que pueden formar una úlcera*.

Otros alumnos afirman que el pH «biológico» es cercano a 7 y, por tanto, éste no puede variar tras la ingestión de sustancia alguna. Según su criterio, si el organismo es neutro (o para algunos «casi neutro»), no se toleran sustancias que no sean neutras.

Esta idea nos sirve para enlazar con otra que también plantean algunos alumnos al responder a este ítem, concretamente la identificación de neutro con «poco reactivo» o que neutro parece indicar «sin carácter ácido-base». Por citar algún ejemplo, un alumno de 4º curso indica que hay que ingerir sustancias con pH ~ 6-8 *para que no se produzca ninguna reacción ácido-base*.

En el otro ítem de la prueba que hace referencia a la neutralización (Neut-2), se plantea el fenómeno cotidiano, frecuente en las cocinas, de la adición de azúcar a la salsa de tomate. Este ítem fue diseñado para poner de manifiesto si los alumnos relacionan una de las características de los ácidos (su sabor «ácido») con la acción simultánea de otras sustancias (azúcar) sobre la percepción del gusto. En la resolución de esta cuestión cotidiana no se exige una interpretación química de lo que ocurre en dicho acto y, por eso, se plantean distintos distractores en los que se analiza si los alumnos poseen la idea de que todas las sustancias que poseen grupos OH (entre ellos los alcoholes) son consideradas como bases que *neutralizan* a los ácidos (disolución final neutra). Esta idea la pone de manifiesto el 23% de los alumnos universitarios diagnosticados. El 31% no considera que se produzca una neutralización sino que sigue siendo ácido, aunque algo menos.

La respuesta correcta fue elegida por el 25% de los alumnos, quienes son capaces de diferenciar entre una característica de los ácidos (su sabor agrio) de todas las demás propiedades (reaccionan con las bases).

Las justificaciones de algunos alumnos a este ítem ponen de manifiesto que identifican el término *neutralización* con el de cualquier proceso ácido-base, es decir, consideran que los OH del azúcar reaccionan con parte de los iones  $H_3O^+$  del ácido y, por tanto, la disolución final no tiene por qué ser neutra. Por citar algunas respuestas: *El azúcar se comporta como base y neutraliza parte de los iones  $[H_3O^+]$  así disminuye la acidez* (5º curso). Otros alumnos diferencian entre neutralización (resultado final igual a 7) y reacción ácido-base. Por ejemplo: *No llega a ser una reacción de neutralización totalmente, lo único es que se desplaza ese equilibrio reduciendo  $[H_3O^+]$*  (4º curso). En algunos casos se aclara que la cantidad de azúcar debe ser tal que consiga reaccionar con todo el ácido: *Añadimos una cantidad suficiente de azúcar para neutralizar el sabor ácido del tomate* (2º curso).

Los alumnos que responden correctamente (25%) insisten en la idea de que el azúcar no es una base. Algunos

de ellos parecen haber elegido su opción por exclusión: *ya que la sacarosa no puede actuar como base aceptando  $H^+$  del tomate (5º curso); puesto que la sacarosa no es ni ácido ni base (5º curso); la sacarosa no influye en el equilibrio ácido-base (4º curso).*

Nos parece muy importante señalar que algunos alumnos consideran que *el azúcar neutraliza el sabor del ácido*. Esta idea muestra claramente la confusión entre un aspecto macroscópico, como es el fenómeno observable de la percepción del sabor, con un aspecto microscópico, como es la interpretación teórica que hacen los alumnos de ello: *la sacarosa neutraliza el sabor porque es una base (4º curso); por ello pierde sabor tanto el sabor ácido como el azúcar (2º curso).*

### **Análisis de contenidos de los libros actuales y de comienzos del siglo XX**

El tratamiento que se concede a la neutralización y a otros contenidos relacionados con los procesos ácido-base en los libros de los niveles universitario y medio ha sido indagado tras el estudio exploratorio de las concepciones de los alumnos universitarios sobre el tema. El objetivo principal es examinar la relación que se puede establecer entre los contenidos que aparecen en los textos y las concepciones de los estudiantes universitarios, es decir, observar las posibles coincidencias y analizar la posible influencia que los textos ejercen sobre los alumnos universitarios.

Para realizar esta comparación se precisa un instrumento de diagnóstico que permita transformar un documento en una serie de datos cuantitativos y analizables; en este caso, también comparables con los datos cuantitativos obtenidos de la aplicación de la prueba objetiva a los alumnos universitarios. La metodología que realiza esta transformación es el análisis de contenidos (Zuleyma, 1991) y el instrumento que mejor permite la comparación es un protocolo en el que se incluyan los mismos contenidos que en la prueba para el diagnóstico de las concepciones de los alumnos universitarios. Por tanto, la selección de los contenidos y de los objetivos de diagnóstico ha sido realizada utilizando las mismas fuentes que para el diseño de la prueba (revisión histórica y bibliográfica), así como los resultados obtenidos tras la aplicación de dicha prueba (opciones más elegidas y justificaciones más habituales). El protocolo consta de quince ítems que analizan sistemáticamente en los libros los siguientes contenidos: las definiciones de ácidos y bases, los límites de aplicación de las teorías, los conceptos de *neutralización* e *hidrólisis*, la relación entre el pH y la cantidad de sustancia, el equilibrio y el intervalo de viraje del indicador, varios aspectos relacionados con las valoraciones y con las disoluciones reguladoras. El protocolo y los criterios de valoración dicotómica han sido presentados en otros trabajos previos (Jiménez-Liso, 2000).

La muestra consta de quince textos muy utilizados por los alumnos de la licenciatura de ciencias químicas de algunas universidades españolas. Otro criterio para su

selección fue que en dichos libros apareciera algún capítulo dedicado expresamente a los procesos ácido-base. Por esta razón, los textos analizados se distribuyen por materias de la siguiente manera: once de química general, tres de química analítica y uno de química inorgánica. Para completar la muestra se han analizado cinco libros del 2º curso del bachillerato (último curso de secundaria, alumnos de 17-18 años), pues éste es el único curso en el que aparece explícitamente un capítulo dedicado a las reacciones de transferencia de protones como se expresa en los currículos oficiales españoles.

Por otra parte, con el fin de observar la evolución de los textos de química desde finales del siglo XIX hasta la actualidad se han analizado quince libros (nueve del nivel universitario y seis del nivel medio), con fechas comprendidas entre 1868 y 1944 y uno con fecha de 1955 para observar la transición hacia los libros actuales. Los resultados obtenidos de analizar los libros antiguos son comparados con los resultados de los libros actuales. En estos textos no existen capítulos específicos de conceptos relacionados con los ácidos y con las bases sino que dedican capítulos a exponer las características de distintos compuestos en los que se incluyen breves pinceladas sobre su aislamiento y utilización a lo largo de la historia. También explican sus propiedades y aplicaciones industriales, lo que manifiesta el carácter descriptivo y práctico de estos libros de química.

*Resultados del tratamiento sobre la neutralización que aparece en los libros universitarios y de secundaria (actuales y antiguos)*

En el protocolo se diseñaron dos ítems para observar el tratamiento que se concedía a los conceptos relacionados con la neutralización. En uno de ellos se valora si el texto refuerza la idea de que neutralización es cualquier proceso que conduce a un resultado final neutro o si, por el contrario, lo identifican con cualquier proceso ácido-base o exclusivamente con una reacción estequiométrica entre un ácido y una base.

En el otro ítem se evalúa la utilización del término *neutralización* cuando se expone el proceso que tiene lugar en una disolución reguladora del pH. En este caso, se considera positiva (criterio de valoración dicotómica) si el texto explicita que los iones que componen una disolución también reaccionan con los ácidos y con las bases que se le añaden, y se considera negativa si indica que los iones de la disolución reguladora «neutralizan» esos ácidos y bases añadidos, pues esta expresión lleva implícita la idea de que estas disoluciones siempre regulan un  $pH = 7$ .

La aplicación del protocolo a la muestra de libros actuales pone de manifiesto que sólo el 13% de los textos universitarios restringe el concepto de *neutralización* a su sentido etimológico, es decir, a cualquier proceso ácido-base que conduce a una disolución final neutra. Es llamativo que el 67% de los textos universitarios y el 100% de secundaria analizados refuerzan la idea de que la neutralización es cualquier proceso ácido-base (independientemente de que el valor del pH de la disolución

final sea o no 7). Por ejemplo: *Al estudiar la clasificación de las reacciones ácido-base debe tenerse en cuenta que todas son reacciones de neutralización, es decir, reacciones de un ácido y una base que originan sal y agua* (libro universitario actual de química general). *Las sales son compuestos que se forman en las reacciones de neutralización de ácidos y bases. Si bien el proceso se denomina neutralización, esto no significa que las disoluciones acuosas de sales sean neutras* (libro actual de secundaria).

Con respecto a las disoluciones reguladoras del pH, el 40% de los libros universitarios actuales y el 20% de los de secundaria justifican la escasa variación del pH en esas disoluciones cuando se añaden pequeñas cantidades de ácidos y bases, con el argumento de que esas cantidades añadidas son *neutralizadas* por los iones que forman dicha disolución (ítem 14). Esta expresión puede reforzar la idea de algunos alumnos universitarios de que los tampones siempre regulan a un valor del  $\text{pH} = 7$  (Jiménez-Liso, 2000).

La mitad de los libros de finales del siglo XIX y principios del XX definen la neutralización en su sentido etimológico, tan sólo el 19% aplica este término a la reacción de cualquier ácido con cualquier base y el 31% restante no utiliza este concepto ni lo define (los libros más antiguos explican los procesos de doble descomposición). Este resultado pone de relieve que estos libros utilizan el término *neutralización* con un sentido más limitado. La causa puede ser la utilización exclusiva de la teoría de Arrhenius (como pone de manifiesto el resultado obtenido de otro ítem del protocolo, Jiménez-Liso, 2000) para detectar qué definiciones dan los textos sobre los conceptos de ácidos y de bases. Esta teoría ofrece una interpretación de la primera definición funcional y operacional de la neutralización, por lo que restringe la neutralización a la obtención de disoluciones neutras ( $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$ ).

### **Análisis de contenidos de los exámenes de acceso al cuerpo de profesores de educación secundaria**

El protocolo diseñado para el análisis de los libros puede ser aplicado a cualquier texto escrito. Por ello, ha sido utilizado para analizar la prueba escrita realizada por un grupo de licenciados que quieren acceder al cuerpo de profesores de educación secundaria (especialidad física y química). En dichos exámenes se han indagado las concepciones que manifiestan sobre este tema. El protocolo ha podido ser aplicado, pues en él se incluyen la mayoría de los contenidos exigidos en el cuestionario oficial del tema 55 del temario específico de física y química según el Boletín Oficial del Estado Español (MEC, 1993): Ácidos y bases. Teorías. Medidas del pH. Indicadores. Procedimientos para la realización experimental de una curva de valoración ácido-base. Hidrólisis. Soluciones amortiguadoras. Lluvia ácida y contaminación.

La muestra seleccionada consta de cincuenta ejercicios, elegidos al azar, entre los realizados por estos licenciados. Dado el anonimato de los ejercicios se ignora cuáles lograron la plaza para acceder al cuerpo de profesores de educación secundaria.

Antes de ofrecer los resultados de la exploración, hay que indicar algunas características de los licenciados que aspiran a ser profesores de secundaria: suelen ser recién licenciados, es decir, su primera aspiración de trabajo es acceder a los centros públicos a través de estos exámenes. Esta característica indica que es breve el tiempo transcurrido desde que estudiaron en la universidad y se supone que manejan conocimientos actualizados. Otra característica es que poseen una motivación elevada a la hora de desarrollar los contenidos que exige el temario oficial, pues tienen como incentivo de motivación un puesto de trabajo fijo para ser docentes en centros públicos, lo que pueden conseguir si superan los tres ejercicios de los que consta la prueba; o sea, poseen una destacada preocupación por aprender estos contenidos y por expresarlos en los exámenes.

### *Resultados sobre las concepciones de los licenciados acerca de la neutralización*

Como se ha comentado en el apartado dedicado al análisis de libros, en el protocolo se incluyen dos ítems que hacen referencia a la neutralización: en uno se indaga si el texto escrito refuerza la idea de que puede considerarse neutralización cualquier proceso ácido-base y en el otro se explora sobre el mecanismo de regulación de las disoluciones tampón (si justifican ese mecanismo con la *neutralización* de los ácidos o bases añadidos por los iones que forman el tampón).

Con respecto a este último ítem, a pesar de que las soluciones reguladoras del pH se incluyen como epígrafe dentro del tema oficial, sólo el 32% de los opositores comenta que estas disoluciones mantienen el pH constante si no se añaden cantidades excesivas de ácidos o bases. El 68% no explicita de qué depende la efectividad y hay un 8% que afirma que depende exclusivamente de la concentración o de la fuerza del ácido o de la base añadidos. La ausencia de justificación sobre lo que ocurre en una disolución reguladora del pH no permite extraer resultados sobre el significado que conceden a la neutralización.

Aunque los licenciados no expliciten el funcionamiento de las disoluciones reguladoras en el epígrafe dedicado a ellas, a lo largo de la prueba escrita dejan explícito el significado que conceden a la neutralización: muchos opositores (42%) denominan *neutralización* a la valoración ácido-base, y casi todos identifican ese término con cualquier reacción ácido-base sin tener en cuenta que, para que se produzca una neutralización, el resultado final tiene que ser neutro.

Para contrastar esta información analizamos el tratamiento que otorgan al epígrafe del temario oficial titulado *Procedimientos para la realización experimental de una curva de valoración ácido-base*. Los distintos tipos de valoraciones que describen los licenciados, así como las curvas de valoración han sido contabilizados. El 64% de los opositores sólo consideran una valoración cuando tiene lugar entre un ácido y una base fuertes cuyo punto de equivalencia coincide con un valor del  $\text{pH} \neq 7$ . El 14% comenta explícitamente que, en cualquier valoración, el

punto de equivalencia siempre coincide con un  $\text{pH} = 7$ . Sólo el 12% tiene en cuenta la valoración de un ácido débil con una base fuerte o viceversa y tan sólo dos opositores (4%) se refieren a todas las posibilidades. Casi todos ellos indican que en el punto de equivalencia primero se forma la sal, y la hidrólisis posterior de ésta produce un  $\text{pH} \neq 7$  (*razonamiento causal secuencial* en el que una etapa es causa de la posterior, sin considerar que todos los equilibrios tienen lugar desde el principio). Este mismo tipo de razonamiento ha sido detectado en el 65% de los libros analizados al aplicar otro ítem del protocolo comentado en los párrafos anteriores y en el 44% de los alumnos diagnosticados.

### **Análisis de los conceptos que utilizan algunos mensajes publicitarios relacionados con la neutralización**

La emisión por televisión, en España, de algunos mensajes publicitarios en los que se resaltaba el valor del  $\text{pH}$  como cualidad beneficiosa de los productos de los que se hace propaganda, proporcionó un buen argumento para analizar las ideas relacionadas con los ácidos y con las bases que contenían, así como contrastar las similitudes con las concepciones de los alumnos universitarios expresadas en apartados anteriores (Jiménez-Liso et al., 2000).

El análisis de los anuncios de televisión puso de manifiesto que las ideas utilizadas en publicidad se asimilan a las concepciones de los alumnos universitarios, de secundaria y licenciados: identificación de *neutro* con *inocuo* y con *inerte*, consideración de que los ácidos son perjudiciales para el organismo (piel, dientes, etc.) o para la ropa, etc.

Las conclusiones de este estudio indican que, dada la redundancia publicitaria, y aceptando la complejidad de estos fenómenos, es muy probable que sus mensajes coadyuven a la creación de lo que *Giordan* denomina un *pseudosaber* (Giordan y De Vecchi, 1988); es decir, palabras o términos con connotaciones subjetivas de eficacia, palabras que se poseen en la memoria pero sin actividad funcional alguna. Igualmente el alumno repite algunas veces las palabras de un texto o unos apuntes que no le dicen nada más allá de su necesidad de memorizarlos para el examen. El desconocimiento de los alumnos sobre la naturaleza ácida o básica de productos muy comunes en el hogar puede ser, en cierta medida, solventada con el uso de la publicidad como excusa para introducir su estudio en las aulas de ciencias. Una propuesta de actividades para el aula de secundaria utilizando la publicidad con el fin de facilitar el aprendizaje de este tema ha sido presentada en un trabajo previo (Jiménez-Liso et al., 2000).

### **REFLEXIONES FINALES**

El estudio del desarrollo histórico de las teorías ácido-base y de la neutralización no sólo permite al profesora-

do establecer relaciones con las concepciones de los alumnos, sino que también puede servir para plantear en el aula cuestiones sobre la naturaleza de la ciencia y las metodologías científicas y para evitar la escasa o nula relación que manifiestan entre las teorías que se manejan y su desarrollo histórico, la poca atención a la validez de las teorías o la visión acumulativa de la ciencia. Todas estas deficiencias, como hemos desarrollado anteriormente, las muestran tanto los libros analizados como los licenciados que serán docentes en un futuro próximo.

La revisión bibliográfica sobre la neutralización ha puesto de manifiesto los distintos significados del término *neutralización* que le conceden los autores. Por ejemplo, Zoller (1990) considera lo que es cualquier reacción entre un ácido y una base; Schmidt (1991) se decanta por la reacción estequiométrica entre un ácido y una base; y Nakhleh y Krajcik (1994) afirman que las reacciones que conducen a un  $\text{pH} = 7$  son un caso particular de las neutralizaciones. Todos ellos coinciden en considerar como erróneo que los estudiantes identifiquen neutralización con aquellos procesos en los que se obtiene un valor final del  $\text{pH} = 7$ .

Las concepciones alternativas detectadas en los estudiantes universitarios (identifican valores bajos del  $\text{pH}$  con ácidos «fuertes» y éstos con perjuicios para el organismo; *neutro* con *inocuo* e *inerte*; concepción del carácter ácido o básico de una sustancia como algo inherente exclusivamente a dicha sustancia, etc.) ponen de relieve la necesidad de unificar el significado del término *neutralización* en los contextos cotidiano y científico.

La publicidad, los libros de texto y los docentes al utilizar estas ideas, fuera del aula (en contextos cotidianos) o dentro de ella, pueden inducir o reforzar muchas concepciones alternativas en los estudiantes. Sin embargo, después de analizar los resultados expuestos en este trabajo es preciso señalar que el origen de las concepciones alternativas de los alumnos hay que buscarlo en la contradicción que se suele establecer entre el significado cotidiano (etimológico) y el científico (neutralización igual a cualquier proceso entre un ácido y una base).

En la medida de lo posible, el lenguaje científico debe estar en consonancia con el ordinario (etimología). Es cierto que la ciencia recoge términos vulgares y los interpreta a la luz de los conocimientos, los matiza y, a veces, les atribuye significados diferentes. En ciertas ocasiones –por ejemplo, en el caso de la neutralización– esto se puede evitar.

Los aspectos epistemológicos destacados no ofrecen ninguna resistencia a que se opte por intentar aproximar el significado etimológico al científico, de forma que se restrinja la neutralización a los procesos que conducen a un resultado final neutro, siempre que se respeten los límites de validez de las teorías y se defina cada concepto (*ácido*, *base*, *neutro*) y el proceso dentro de cada teoría.

El análisis de la forma de presentación de las teorías ácido-base que lleva implícita una visión de la ciencia

aporta un excelente instrumento para hacer reflexionar a los estudiantes sobre la imagen de ciencia que poseen. En numerosas ocasiones muestra facciones del inductivismo, al ofrecer una visión acumulativa lineal de la ciencia que no se corresponde con el desarrollo histórico sino que expone las teorías desde la más restrictiva a la más general. Por ejemplo, Moeller (1988) plantea una problemática al comentar que *en contra de lo que frecuentemente parece sugerirse en la bibliografía, las proposiciones de Arrhenius y de otros autores, no son definiciones y no constituyen teorías, pues éstas precisan tener una justificación experimental, es decir, deberían satisfacer unos criterios fenomenológicos que caracterizan el comportamiento ácido-base* (Lewis, 1938). De la visión empirista que se manifiesta, sobre todo en

las palabras de Lewis, hay que resaltar la discusión entre teoría o definición en función de que las propuestas sean experimentales o no. Ésta y otras cuestiones serán fruto de trabajos posteriores en los que desarrollaremos ampliamente la relación entre la filosofía de la ciencia y las teorías ácido-base.

### AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a los profesores Carles Furió, F. Javier Perales, Manuel Fernández y Diego Petrucci todas sus sugerencias nacidas de los debates que, sobre este tema, hemos desarrollado con ellos y que nos animaron a sistematizar el contenido de este artículo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BÁRCENAS, S.L., CALATAYUD, M.L. y FURIÓ, C. (1997). Dificultades en el aprendizaje y en la enseñanza de las reacciones ácido-base. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, pp. 167-168.
- BÁRCENAS, S.L. (1999). «Análisis crítico de la enseñanza-aprendizaje de las reacciones ácido-base en el bachillerato. Una propuesta alternativa basada en el aprendizaje por investigación dirigida». Tesis doctoral. Universidad de Valencia.
- BRÖNSTED, J.N. (1923). *Rev. Trav. Chim.*, 42, p. 718.
- DE LA GUARDIA, M., SALVADOR, A., LÓPEZ, J. y CARRIÓN, J.L. (1985). Errores conceptuales en la concepción de los equilibrios ácido-base. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, p. 61.
- DE MANUEL, E., JIMÉNEZ-LISO, M.R. y SALINAS, F. (1998). Revisión bibliográfica sobre conceptos de los alumnos relacionados con los procesos ácido-base. *Revista de Educación de la Universidad de Granada*, 11, pp. 61-72.
- DE MANUEL, E., JIMÉNEZ-LISO, M.R. y SALINAS, F. (1999a). Conceptos relacionados con los ácidos y las bases al nivel macroscópico: evolución histórica e ideas de los alumnos, en Martínez Losada, C. y García Barros, S. *La didáctica de las ciencias. Tendencias Actuales*, pp. 359-368. Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Coruña.
- DE MANUEL, E., JIMÉNEZ-LISO, M.R. y SALINAS, F. (1999b). Conceptos relacionados con los ácidos y las bases al nivel teórico y molecular: evolución histórica e ideas de los alumnos, en Martínez Losada, C. y García Barros, S., pp. 369-380. *La didáctica de las ciencias. Tendencias Actuales*.
- DE MANUEL, E., JIMÉNEZ-LISO, M.R. y SALINAS, F. (2000). Las concepciones sobre ácidos y bases de los opositores al cuerpo de profesores de secundaria. *Alambique*, 24, pp. 66-76.
- FRANKLIN, E.C. (1912). *Am. Chem. J.*, 47, p. 285.
- GIORDAN, A. y DE VECCHI, G. (1988). *Los orígenes del saber*. Sevilla: Díada.
- JIMÉNEZ-LISO, M.R., DE MANUEL, E., GONZÁLEZ, F. y SALINAS, F. (2000). La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: aplicaciones en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (3), pp. 451-461.
- JIMÉNEZ-LISO, M.R. (2000). «Contenidos relacionados con los procesos ácido-base: diagnóstico y propuestas al nivel universitario». Tesis doctoral publicada en CD. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada.
- LEWIS, G.N. (1923). *Valence and the Structure of Atoms and Molecules*. Nueva York: The Chemical Catalog Co.
- LEWIS, G.N. (1938). Discusión clásica. *Journal of Franklin Institute*, 226, p. 293.
- LLORENS, J.A. (1991). *Comenzando a aprender química. Ideas para el diseño curricular*. Madrid: Visor.
- LOWRY, T.M. (1923). *Chemi Ind. (Lond.)*, 42, p. 43.
- LUX, H. (1939) *Z. Elektrochem.*, 45, p. 303.
- MEC (1993). Cuestionario oficial del temario específico de física y química. *Boletín Oficial del Estado Español* de 21 de septiembre de 1993.
- MELLADO, V. y CARRACEDO, D. (1993). Contribución de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), pp. 331-339.
- MOELLER, T. (1988). *Química inorgánica*. Barcelona: Reverté.
- NAKHLEH, M.B. y KRAJCIK, J.S. (1994). Influence of levels of information as presented by different technologies on students' understandings of acid, base and pH concepts.

- Journal of Research in Science Teaching*, 31(10), pp. 1077-1096.
- REAL ACADEMIA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES (1996). *Vocabulario científico y técnico*. Madrid: Espasa.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA DE LA LENGUA (1994). *Diccionario de la Lengua Española*. Madrid: Espasa.
- ROSS, B. y MUNBY, H. (1991). Concept mapping and misconceptions: a study of high-school students' understandings of acids and bases. *International Journal of Science Education*, 13(1), pp. 11-23.
- SÁNCHEZ, M.A., DE MANUEL, E. y JIMÉNEZ-LISO, M.R. (2000). El aprendizaje de la transformación química desde los primeros niveles de la enseñanza. *Comunicación presentada a los XIX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Madrid. Septiembre de 2000.
- SCHMIDT, H.J. (1991). A label as a hidden persuader: chemists' neutralization concept. *International Journal of Science Education*, 13(4), pp. 459-471.
- SCHMIDT, H.J. (1995). Applying the concept of conjugation to the Brønsted theory of acid-base reactions by senior high school students from Germany. *International Journal of Science Education*, 17(6), pp. 733-741.
- SCHMIDT, H.J. (1997). Students' misconceptions. Looking for a pattern. *Science Education*, 81(2), pp. 123-135.
- TATON, R. (1988). *Historia general de las ciencias*, 5, p. 390. Barcelona: Orbis.
- TOULMIN, S.E. (1969). *The uses of argument*. Cambridge: University Press.
- USANOVICH, M. (1939). *J. Gen. Chem. (USSR)*, 9, p. 182.
- VIDYAPATI, T.J. y SEETHRAMAPPA, J. (1995). Higher secondary school student's concepts of acids and bases. *School Science Review*, 77 (278), pp. 82-84.
- ZOLLER, U. (1990). Students' misunderstandings and misconceptions in college freshman chemistry (General and Organic). *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), pp. 1053-1065.
- ZULEYMA, M.C. (1991). *El documento persuasivo. Análisis de contenido y publicidad*. Bilbao: Deusto.

[Artículo recibido en junio de 2001 y aceptado en febrero de 2002.]