

CONCEPTOS RELACIONADOS CON LOS ÁCIDOS Y LAS BASES AL NIVEL MACROSCÓPICO: EVOLUCIÓN HISTÓRICA E IDEAS DE LOS ALUMNOS.

Esteban De Manuel Torres
María Rut Jiménez Liso
Universidad de Granada
Francisco Salinas López
Universidad de Extremadura

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los ácidos y de las bases abarca desde los primeros niveles hasta los superiores de la educación. Es, por lo tanto, uno de los temas que más interés pueden ofrecer desde el punto de vista de la Didáctica de la Química y que mejor se prestan a la realización de un seguimiento longitudinal a lo largo de los niveles educativos.

Por una parte, en la Educación Primaria, los fenómenos observables relacionados con los ácidos y con las bases pueden constituir la base para comenzar el estudio de las transformaciones químicas. Si buscamos un paralelismo con el desarrollo histórico de la Química, encontramos que una de las primeras recetas para la realización de un proceso químico que se encuentra documentado es la "receta número 89" del papiro de Estocolmo que corresponde a un proceso ácido-base. En la medida en la que se dé valor a la correlación entre el aprendizaje de la ciencia en la Historia y en el alumno, este hecho refuerza nuestra hipótesis de que las reacciones ácido-base pueden servir de introducción al concepto de reacción en los primeros niveles de enseñanza. Por otra parte, en los niveles más elevados de la enseñanza universitaria, las reacciones ácido-base son muy utilizadas, tanto desde el punto de vista teórico como por sus aplicaciones en el análisis químico y en los procesos industriales.

Constituye un reto, pues, el poder presentar una propuesta didáctica que abarque todos los niveles de enseñanza y que ofrezca estrategias que permitan mejorar el aprendizaje y la aplicación de los conceptos relacionados con el tema que nos ocupa. Ello nos ha animado a emprender un trabajo amplio con tal objetivo.

Unas de las bases sobre las que se fundamentan las propuestas didácticas son la evolución histórica de los conceptos y las ideas que los alumnos manejan cuando se comienza el aprendizaje pues, como muchos autores han señalado, se detecta un cierto paralelismo entre esta evolución científica y la que experimentan las ideas que los alumnos van construyendo durante su proceso de aprendizaje. Entre estos autores Wandersee (1985) nos muestra muchas y muy diversas coincidencias entre las ideas previas de los alumnos y la historia de la Ciencia, si bien no podemos sacar como conclusión que los alumnos reproduzcan paso a paso la evolución de un concepto a lo largo de la historia. Por otro lado, otros autores, como Saltiel y Viennot (1985) señalan que hay que tener cuidado a la hora de establecer paralelismos entre las ideas previas intuitivas de los alumnos y las que fueron desarrolladas a lo largo de la historia, ya que se desarrollan en contextos muy diferentes y también porque estas teorías contienen demasiadas variantes como para establecer un único paralelismo.

En este trabajo mostramos un estudio en el que comparamos las ideas de los científicos con las de los alumnos, tanto las que figuran en la literatura como las que nosotros mismos hemos detectado, referidas a las propiedades observables de los ácidos y las bases. En otro trabajo (De Manuel, Jiménez y Salinas, 1998b), abordamos un estudio similar, pero desde el punto de vista de las explicaciones o teorías relacionadas con los ácidos y con las bases y la justificación de éstas al nivel molecular. Y todo ello es parte de un trabajo más amplio en el que intentamos realizar un estudio y formular una propuesta didáctica que abarque desde la educación primaria hasta los últimos cursos de los estudios universitarios, como hemos mencionado más arriba.

Para fundamentar el trabajo estamos realizando:

- Un análisis histórico de la evolución de los conceptos relacionados con los procesos ácido-base.
- Una revisión bibliográfica de las investigaciones didácticas sobre el tema que se resume en un trabajo publicado por nosotros (De Manuel, Jiménez y Salinas, 1998a).
- Un estudio de las teorías que manejan los científicos sobre estos procesos.
- El análisis de los currículos oficiales correspondientes a los distintos niveles y que, en parte, también ha sido objeto de otra publicación de uno de nosotros (De Manuel, 1997).
- Una revisión del tratamiento que se da al tema en los libros de texto de los distintos niveles.

Las conclusiones de esta comunicación pensamos que pueden ser de utilidad a la hora de diseñar estrategias educativas a todos los niveles.

2. RESUMEN DE LAS ANALOGÍAS ENCONTRADAS ENTRE LAS IDEAS DE LOS ALUMNOS Y LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Vamos a organizar este apartado según los siguientes temas:

- *Definiciones de ácidos y bases.*
- *Nomenclatura.*
- *Fuerza de los ácidos y las bases.*
- *Concepto de neutralización.*
- *Indicadores.*

2.1. Definiciones de ácidos y bases

Los ácidos y las bases eran muy conocidos y utilizados desde muy antiguo, sin embargo, no hay ningún indicio de ello hasta la cultura helenística de la que sí se han hallado escritos donde aparecen recetas prácticas que lo confirman. Concretamente, en Estocolmo y en Leiden, se encontraron dos papiros con algunas de estas recetas.

En el *papiro de Estocolmo* nos encontramos con recetas prácticas para la preparación y utilización de mordientes, tintes y gemas de imitación y en el *papiro de Leiden*, además del trabajo de los metales, aparecen recetas como la del agua sulfurosa (receta número 89).

Se utilizaban el vinagre y los zumos de frutas como disolventes de ciertos metales, y se conocían sales como la sal común, carbonato de sodio, sulfato de hierro, etc. Sin embargo, no se hacía ninguna interpretación de lo que ocurría en los procesos que se describen en estas recetas.

La primera interpretación que hemos encontrado es de *Robert Boyle* (siglo XVII) quien definía los ácidos por su efervescencia con las bases y viceversa. Lo que parece una simple reflexión sobre la naturaleza de los ácidos, las bases y las sales, es 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, como por ejemplo *Boyle*. El debate se resolvió a favor de estos últimos al demostrar *Boyle* que los ácidos podían descomponerse y que un gran número de cuerpos no contenían ningún ácido por lo que no podía ser un agente universal.

Las posteriores definiciones de ácidos y bases corresponden al nivel teórico y molecular que tratamos en otro trabajo (De Manuel, Jiménez y Salinas, 1998b).

Preferimos detenemos ahora en la interpretación que hace Boyle que se fundamenta en un fenómeno observable pues también encontramos en la literatura didáctica algunos estudios que ponen de manifiesto que casi un tercio de los alumnos de los últimos cursos de secundaria y primeros cursos de Universidad utilizan definiciones de ácidos puramente descriptivas (por ejemplo, los que tienen pH menor que 7; los que tienen sabor agrio, etc.). En los primeros cursos de Universidad, después de un año de estudio de Química General, aumentan las definiciones científicas de ácidos y bases descendiendo la descriptiva (Cros y otros, 1986, 1988).

En estudios que hemos realizado en niveles universitarios (Jiménez, 1998), en cuatro Universidades españolas sobre un total de 1563 alumnos de la Licenciatura de Químicas fundamentalmente, hemos encontrado que el 77% de los alumnos universitarios consideran que una sustancia sólida es ácida o básica sólo si está en disolución. Por otra parte, el 56% de estos alumnos consideran que todos los ácidos tiñen de rojo el papel indicador y así limitan la definición de ácido a aquellas sustancias que están en disolución pues para que un sólido tiña de rojo el papel indicador debe ser disuelto con anterioridad. Se restringe, pues, la definición de ácido a las teorías de Arrhenius y Brønsted-Lowry.

2.2. Nomenclatura

Puede resultar extraño incluir este apartado en una comunicación en la que pretendemos relacionar los aspectos macroscópicos, es decir, que se basan en los fenómenos observables. Sin embargo, de la propia nomenclatura utilizada puede deducirse la idea subyacente sobre la naturaleza de los ácidos y las bases y que pueden tener su correspondencia entre el desarrollo histórico y el aprendizaje de los alumnos.

Como hemos comentado en el apartado anterior, los ácidos y las bases eran conocidos y muy utilizados en la antigüedad, como lo ponen de manifiesto los escritos encontrados. Durante la edad media, concretamente en el mundo árabe, también se utilizaron recetas de tipo práctico como por ejemplo la receta de *al-Razi* para obtener el polisulfuro de calcio:

“Toménse partes iguales de al-Quili (carbonato sódico) calcinado y de cal viva, y viértase sobre ello cuatro veces su cantidad de agua y déjese durante tres días. Filtrese la mezcla y vuelta a añadirse al Quili y cal hasta un cuarto de la solución filtrada. Hágase esto siete veces. Viértase todo en la mitad (en volumen) de sal de amoníaco disuelta. Luego consérvese; pues, en verdad, es la más fuerte de las aguas ardientes; puede disolver inmediatamente el talc (mica)” (Stapleton y otros, citado en Leicester, 1967).

En esta receta aparecen algunos términos e ideas que, aunque no pueden tomarse como una interpretación de los hechos que exponen, sin embargo, es la primera clasificación en la que se engloban varias sustancias atendiendo a cualidades semejantes. En esta receta se encuentra el origen de la palabra *álcali* (*al Quili*) que era el carbonato de sodio en bruto obtenido por lixiviación de las cenizas, además se sabía que la adición de sales de amoníaco a los álcalis intensificaba su eficacia. Este término se amplió para todas las bases y aún en la actualidad se siguen utilizando los términos "álcali" y "alcalinidad" para referirse a disoluciones acuosas de determinadas sustancias que le confieren carácter básico (Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1996).

En el siglo XVIII se cambió el nombre de los álcalis que empezaron a llamarse **BASES** debido a *Rouelle* (1703-1770), que fue profesor de química de Lavoisier, y que también amplió el concepto de sales, que hasta entonces sólo abarcaba los compuestos neutros solubles ya que observó que cuando reaccionan los ácidos y las bases se podían originar sales ácidas, neutras o básicas y que muchas sales auténticas eran insolubles.

La utilización del término "bases" creemos que puede suponer un obstáculo en muchos alumnos que identifican el término "básico" con fundamental, elemental, obvio, etc, como así lo pone de manifiesto el hecho de que algunos alumnos de secundaria afirman que todos los alimentos son "básicos" y que los ácidos nunca se deben ingerir (Ross y Munby, 1991). Estos autores señalan que la utilización de este término implica una connotación dietética. Relacionado con este tema, señalan que esos alumnos identifican el término antiácido con sustancias que no reaccionan con los ácidos.

Al igual que las bases, los ácidos se conocían y utilizaban desde la antigüedad. En el mundo árabe, los ácidos que entonces se utilizaban para disolver metales y otras sustancias eran el vinagre, la leche agria y el zumo de limón que se incluían dentro de lo que se denominaba con el término de "aguas ardientes".

Éste no es el único término específico para referirse a los ácidos. A partir del siglo XVII se empleaban términos como "agua regia" o "agua fuerte" para designar algunos ácidos y actualmente se siguen empleando cotidianamente.

Estos términos son muy comunes y conocidos prácticamente por la totalidad de las personas; hacemos uso de ellas en la vida ordinaria, en el hogar. Probablemente este uso cotidiano no pase desapercibido para nuestros alumnos y les lleve a identificar el concepto de ácido con el de fuerte y, por tanto, con la idea que en párrafos anteriores señalamos de que los ácidos nunca se deben ingerir (Ross y Munby, 1991).

2.3. Fuerza de los ácidos y de las bases

Relacionado con la idea señalada en el último párrafo del anterior apartado, hemos encontrado en la bibliografía consultada que algunos alumnos confunden la fuerza de los ácidos con el "daño", "dolor" y con reactividad (Nakhleh y Krajcik, 1994).

En este sentido, en el siglo XVIII, Bergman relacionaba la fuerza de los ácidos con la cantidad de ácido que reacciona con una determinada cantidad de base y, Kirwan en función de la cantidad de base necesaria para neutralizar una determinada cantidad de ácido, análogamente a la idea de algunos alumnos, detectada también por nosotros al estudiar estos conceptos en los niveles universitarios. Por ejemplo, al preguntarles cuándo una disolución tampón deja de ser efectiva, el 28% de los alumnos respondieron que cuando se añadiesen ácidos o bases fuertes. La respuesta corresponde a la idea de que los ácidos y las bases alteran el pH de una disolución tampón si son fuertes; existe confusión entre cantidad de ácido (equivalentes) y fuerza del ácido. Una disolución tampón dejará de mantener relativamente constante el pH si se añaden cantidades elevadas de ácidos y de bases, pero seguirá ejerciendo el efecto regulador si estas cantidades no son excesivas pese a que los ácidos y las bases sean fuertes o estén muy concentrados (Jiménez, 1998).

En otro ítem de esa misma investigación, se buscaba confirmar si los alumnos atribuyen un valor del pH relativamente bajo ($\text{pH}=3$) de un fenómeno cotidiano como es la lluvia ácida a la fuerza del ácido que lo origina, a la concentración o, por el hecho de formarse en la atmósfera, a su pureza. El 51% de los alumnos respondieron que como se forman ácidos fuertes el pH debe ser bajo ($\text{pH}=3$) sin tener en cuenta los equivalentes del ácido que se encuentra en disolución.

Por otro lado, un fenómeno observable como es el desprendimiento de gas en una reacción puede producir confusión con la fuerza, como así lo ponen de manifiesto Nakhleh y Krajcik (1994) quienes destacan que algunos alumnos consideran las burbujas como signo de la reacción química y de la fuerza.

2.4. Concepto de neutralización

En lo que al término de la neutralización se refiere, 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 (positivo y negativo) y el concepto de intermedio era representado por el número místico tres que se consideraba como NEUTRO. En esta línea también *Anaximandro* (Grecia) interpretó que la lucha de los opuestos era la armonía. Esta idea de neutro como intermedio o como meta de la lucha de contrarios puede permanecer en los alumnos.

Zoller (1990) destaca que los alumnos tienen la idea de que cualquier sal

al disolverse produce una disolución neutra ($\text{pH}=7$), es decir, las sales se forman de la neutralización de los ácidos con las bases dando especies neutras.

Para *Schmidt* (1991) el significado original del término "neutralización" equivalía a la reacción estequiométrica entre un ácido y una base. 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, el de la "estequiometría" y el del $\text{pH}=7$; él se inclina por utilizarlo sólo en el primer sentido.

Nuestra propuesta en este sentido es la siguiente: existen en Química términos específicos para cada situación y distinguiríamos entre:

- *proceso o reacción ácido-base* 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* la que tiene lugar equivalente a equivalente; el pH resultante puede ser distinto de 7.
- *reacción de neutralización* o simplemente *neutralización* la que conduce a $\text{pH}=7$, aunque, para ello, no sea estequiométrica. Según la Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (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 oxhidrilo (sic), es decir, hasta alcanzar un $\text{pH}=7$.*

En Química Analítica, en una *valoración* ácido-base, tiene lugar la reacción estequiométrica, y en ella se utiliza algún método que indica que la reacción ha terminado cuando cada equivalente de ácido ha reaccionado con un equivalente de base, aunque el pH no sea 7.

Proponemos, por tanto, que sólo se emplee el término "neutralización" o el de "neutralizar" para referirnos a procesos que conducen a la solución final con un $\text{pH}=7$.

2.5. Indicadores

El primer intento que hemos encontrado para poner de manifiesto el punto de neutralidad de una reacción se debe a *Glauber* quien utilizó el cese del desprendimiento de dióxido de carbono como indicador de la reacción de formación del nitrato de potasio a partir de ácido nítrico y de carbonato de potasio. Sin embargo, en este caso no podemos interpretar que se trate del uso de indicadores como ahora lo entendemos pero sí nos muestra el interés que ya en el siglo XVII se tenía por poner de relieve el punto final de una reacción determinada.

Relacionado con este fenómeno observable, Ross y Munby (1991) destacan conceptos, que los alumnos no llegan a comprender, y piensan, por ejemplo, que las burbujas son un signo de la reacción química o de la fuerza, algunos comentan que los "ácidos (o las bases) tienen burbujas, o como señalamos en el apartado de la fuerza de los ácidos y las bases, las burbujas son un signo de la reacción química y de la fuerza (Nakhleh y Krajcik, 1994); esto muestra que la mezcla entre los fenómenos observables (nivel macroscópico) y el sistema de representación microscópico produce errores en la comprensión de este fenómeno.

Más tarde *Boyle* fue el que realmente comenzó a utilizar sustancias que, por el cambio de alguna propiedad, en este caso el color, podían señalar si una sustancia era ácida o básica ya que descubrió que el jarabe de violetas toma un color diferente según se ponga en presencia de ácidos o de álcalis.

La primera interpretación sobre el mecanismo de los indicadores la dió W. Ostwald en 1891. Su teoría explicaba que los indicadores eran ácidos o bases débiles cuyos iones tenían un color diferente que las moléculas sin disociar (Partington, 1964)

Monzón (1917) en su libro de Química General explica que los indicadores están constituidos por sustancias que reaccionan con la solución valorada solamente cuando ha reaccionado toda la sustancia que se analiza o trata de determinar, así por ejemplo, la fenolftaleína reacciona con los álcalis sólo cuando se ha consumido todo el ácido. Esta interpretación coincide con las ideas de algunos alumnos, incluso de los últimos niveles universitarios: "el indicador sólo interviene cuando todo el ácido o toda la base han reaccionado".

En la interpretación del papel que juega el color, algunos alumnos ponen de manifiesto errores como que los ácidos son rosa, o que soluciones a distinto pH tienen distinto color, y se dan concepciones erróneas del papel de los indicadores como que un ácido destruye a las bases por causa del cambio de color de la fenolftaleína, etc (Ross y Munby, 1991).

En otro trabajo (De Manuel, Jiménez y Salinas, 1998b) mostramos una tabla-resumen con las analogías encontradas entre la evolución histórica de los conceptos ácido-base y las ideas que manejan los alumnos sobre este tema.

3. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS

Este apartado se refiere a los textos consultados para realizar la revisión histórica y los conceptos científicos que presentamos en esta comunicación.

BABOR, J.A. E IBARZ, J. (1979). *Química General Moderna*. Marín. Barcelona.

- BAUER, H. (1933). *Historia de la Química*. Labor. Barcelona.
- BENSAUDE-VINCENT, B. Y STENGERS, I. (1997). *Historia de la Química*. Addison-Wesley. Madrid.
- BROWN, T.L.; LEMAY, H.E. Y BRUSTEN, B.E. (1993). *Química. La Ciencia Central*. Prentice-Hall. México.
- CROMBIE, A. (1993). *Historia de la Ciencia: de San Agustín a Galileo*. Alianza. Madrid.
- IHDE, A.J. (1984). *The development of Modern Chemistry*. Dover Publications. New York.
- JIMÉNEZ, M.R. (1998). "Revisión Histórica y Bibliográfica y diseño de una prueba para el diagnóstico de conceptos relacionados con los ácidos y las bases con vistas a sus aplicaciones didácticas". Memoria de Licenciatura (tesina) no publicada. Facultad de Ciencias. Universidad de Extremadura.
- KAUFFMAN, G.B. (1980). Niels Bjerrum (1879-1958): A centennial evaluation. Part II: The work. *Journal of Chemical Education*, 57 (12), pp 863-867.
- KOLTHOFF, I.M. (1979). *Análisis químico cuantitativo*. Nigar. Buenos Aires.
- LEICESTER, H. M. (1967). *Panorama histórico de la Química*. Alhambra. Madrid.
- LOCKERMANN, G. (1960). *Historia de la Química*. U.T.E.H.A. México.
- MAHAN, B.H. (1986). *Química General. Curso Universitario*. Addison-Wesley Iberoamericana. Méjico.
- MOELLER, T. (1988). *Química Inorgánica*. Reverté. Barcelona.
- MONZÓN, J. (1917). *Elementos de Química General*. Imp. y Lib. Eulogio de las Heras. Sevilla.
- OSTWALD, W. (1917). *Elementos de Química*. Gustavo Gili. Barcelona.
- PARTINGTON, J.R. (1964). *A History of Chemistry*. MacMillan. London.
- SKOOG, D.A., WEST, D.M. Y HOLLER, F.J. (1996). *Fundamentos de Química Analítica*. Reverté. Barcelona.
- TATON, R. (1988). *Historia general de las ciencias*. Orbis. Barcelona, 5, p 390.

REFERENCIAS

- CROS, D. Y OTROS (1986). Conceptions of first year university students of the constitution of matter and the notions of acids and bases. *European Journal of Science Education*, 8 (3), pp 305-313.
- CROS, D. Y OTROS (1988). Conceptions of second year university students of some fundamental notions in Chemistry. *International Journal of Science Education*, 10 (3), pp 331-336.
- DE MANUEL, E. (1997). "Aprendizaje de los conceptos de ácido y de base en los niveles educativos primario y secundario". En Jiménez, R. y Wamba,

- A.M. *Avances en Didácticas de las Ciencias Experimentales*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva. pp. 207-214.
- DE MANUEL, E.; JIMÉNEZ, M.R. Y SALINAS, F. (1998a). Revisión bibliográfica sobre conceptos de los alumnos relacionados con los procesos ácido-base. *Revista de Educación de la Universidad de Granada*.
- DE MANUEL, E.; JIMÉNEZ, M.R. Y SALINAS, F. (1998b). Conceptos relacionados con los ácidos y las bases al nivel teórico y molecular: evolución histórica e ideas de los alumnos. *XVIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. A Coruña.
- JIMÉNEZ, M.R. (1998). "Revisión Histórica y Bibliográfica y diseño de una prueba para el diagnóstico de conceptos relacionados con los ácidos y las bases con vistas a sus aplicaciones didácticas". Memoria de Licenciatura (tesina) no publicada. Facultad de Ciencias. Universidad de Extremadura.
- 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*. Espasa. Madrid.
- 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.
- SALTIEL, E., VIENNOT, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes? *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), pp 137-144.
- SCHMIDT, H.J. (1991). A label as a hidden persuader: chemists neutralization concept. *International Journal of Science Education*, 13 (4), pp 459-471.
- STAPLETON, H.E., AZO, R.F. Y HUSAIN, M.H. *Mem. Roy. Asiatic Soc. Bengal*, 8, p 191, en Leicester (1967), p 82.
- WANDERSEE, J.H. (1985). Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, 23 (7), pp 581-597.
- 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.