

## **LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS SOBRE LOS PROCESOS ÁCIDO-BASE.**

### **THE UNIVERSITY STUDENT'S ALTERNATIVE CONCEPTIONS CONCERNING ACID-BASE PROCESSES.**

JIMÉNEZ LISO, MARÍA RUT\*; DE MANUEL TORRES, ESTEBAN\*\* Y SALINAS LÓPEZ,  
FRANCISCO\*\*\*

\* Dpto Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales. Universidad de Almería. Carretera de Sacramento, s/n. 04120  
La Cañada de San Urbano. Almería. España.

\*\* Dpto Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Granada. España.

\*\*\* Dpto Química Analítica. Universidad de Extremadura. España.

### **RESUMEN**

En este artículo se presentan los resultados obtenidos tras aplicar una prueba diseñada para conocer las concepciones alternativas que manejan los alumnos universitarios de la Licenciatura de Químicas de los contenidos relacionados con los procesos ácido-base. Se indagan las concepciones de los estudiantes sobre la neutralización, la hidrólisis, el pH, la fuerza de los ácidos y de las bases, los indicadores, los equilibrios múltiples, las teorías ácido-base que conocen y las que utilizan, etc. En el presente artículo, mostraremos también algunas dificultades que encuentran los estudiantes: unas relacionadas con el uso de términos con diferentes significados (polisemias), como por ejemplo, los de neutralización e hidrólisis; otras debidas a las relaciones que establecen entre el significado del concepto de pH con la fuerza de los ácidos y de las bases; y las derivadas de la utilización del razonamiento causal secuencial para explicar los equilibrios múltiples, etc. El conocimiento de estas concepciones por parte del profesorado, puede ser útil para plantear estrategias de enseñanza que sirvan para facilitar el aprendizaje de los contenidos implicados y evitar las dificultades como las que hemos detectado.

*Palabras clave: Procesos ácido-base; Concepciones alternativas; Estudiantes universitarios.*

### **ABSTRACT**

This paper shows the conceptions of acids and bases of students from different Spanish universities. The results indicate that most of them consider that neutral substances are inert and harmless for the human organism. They identify low pH values with strong acids. They use a process of sequential causal reasoning to explain the pH of the equivalence point in an acid-base titration with different relative strengths (first the salt is formed, and then this is hydrolysed). They do not consider the equilibrium situation of the two forms of the indicator throughout a titration process, or the indicator's colour-change interval. The aim of this paper has been to identify some alternative conceptions of the university students concerning acid-base processes and teachers proposed strategies to help them with their difficulties with these concepts.

*Keywords: Acid-base processes; alternative conceptions; University students.*

## INTRODUCCIÓN

Los procesos ácido-base abarcan un campo muy amplio del estudio de la Química ya que implican diversos contenidos como las propiedades (acidez y basicidad) de sustancias cotidianas, los relacionados con los cambios químicos o los específicos de estos procesos (teorías ácido-base, neutralización, hidrólisis, fuerza de los ácidos y de las bases, etc.).

Comenzaremos con el desarrollo histórico de las teorías ácido-base presentadas de forma resumida sin entrar en los diferentes contextos en los que surgen ni en los límites de aplicación de cada teoría sino ofreciendo exclusivamente la definición de ácido y de base en cada teoría. El objetivo es ofrecer una breve exposición que sirva de referencia para la utilización de algunas teorías presentadas en este artículo.

Los productos que ahora consideramos como ácidos y como bases se conocen desde la antigüedad, así lo manifiestan 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, carbonato de sodio, sulfato de hierro, etc.

Las primeras clasificaciones que se hicieron de los ácidos y de las bases utilizaban criterios macroscópicos, es decir, una sustancia se definía como ácido o como base en función de sus propiedades (sabor característico, son corrosivos, disuelven los metales, provocan cambios de color en los indicadores, etc). Posteriormente, comenzaron las primeras interpretaciones teóricas y moleculares, como la de Lémery (s. XVII) quien explicaba las propiedades físicas y químicas de los ácidos y las bases en función de la forma de los átomos y la de Lavoisier (1789) quien justificaba las transformaciones entre los ácidos y las bases debidas a la combinación con el oxígeno.

Una vez puesta la base de la teoría de la disociación electrolítica, Arrhenius (1887) relacionó las propiedades de los ácidos con la presencia de iones hidrógeno libres y las de las bases con los iones hidróxido. Las reacciones ácido-base, según Arrhenius, consisten en la combinación de los iones hidrógeno del ácido e hidróxido de la base, para formar agua.

En 1909 Franklin propuso una teoría sobre los sistemas disolventes: se define como ácido toda

sustancia que, disuelta en el disolvente (que puede ser diferente del agua), cede por disociación directa o por interacción con el disolvente el catión característico de éste y como base a toda sustancia que, en iguales condiciones, cede el anión característico del disolvente.

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 aceptar protones, de este modo, las reacciones ácido-base se definen como reacciones de transferencia de protones.

Este mismo año, Lewis (1923) definió como ácido cualquier molécula, radical o ion capaz de aceptar uno o más pares de electrones por tener su capa electrónica incompleta y, de forma complementaria, base es aquella especie capaz de ceder uno o varios pares de electrones, es decir, los procesos que no transcurran en el seno de disolventes o que no supongan transferencia de protones pueden ser considerados como procesos ácido-base en el seno de la teoría de Lewis.

Lux y Flood (1939) propusieron una definición más concreta para justificar los procesos de transferencia de iones óxido que tenían lugar en el suelo a altas presiones. Para ello, definieron como base toda sustancia capaz de ceder iones óxido y como ácido a las sustancias capaces de aceptarlos.

También en 1939, Usanovich 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.

Las teorías ácido-base y los conceptos científicos sobre los procesos ácido-base han sido utilizados por nosotros para el diseño de la prueba con la que hemos diagnosticado las concepciones alternativas de los estudiantes universitarios sobre estos contenidos. También nos han servido de base, para el diseño de la prueba, las investigaciones previas que resumimos en el siguiente apartado.

## ANTECEDENTES

Las concepciones alternativas de los estudiantes sobre los procesos ácido-base han sido indagadas por numerosos autores. A continuación, mostramos algunos trabajos centrándonos en las concepciones alternativas descritas en la bibliografía en Didáctica de las Ciencias Experimentales y en los niveles educativos en los que realizan su estudio que, en su mayoría, se refiere a los estudiantes de secundaria (13-18 años) mientras que escasean los estudios didácticos sobre estos contenidos relativos a los niveles universitarios y de primaria (6-12 años).

Si atendemos a las dificultades de clasificación de sustancias como ácidas, básicas o neutras, *Barral y otros* (1981) describen algunos experimentos sencillos para que los alumnos clasifiquen unas disoluciones acuosas de algunos alimentos (zumos, yogourt, caramelos, sal, etc). *Espinet e Izquierdo* (1983) comentan la sorpresa de los alumnos de 2º de BUP (16 años) al comprobar que las disoluciones de muchas sales son ácidas o básicas.

*De la Guardia y otros* (1985) encontraron que una considerable proporción de los alumnos de los

cursos superiores asignaban el valor 7 al pH del punto de equivalencia en cualquier valoración ácido-base. El rastreo por los libros que utilizaban 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.

*Cros y otros* (1986, 1988) encuentran que un tercio de los alumnos que inician sus estudios universitarios dan definiciones de ácidos puramente descriptivas y establecen poca relación entre los conocimientos teóricos y su aplicación a los hechos o fenómenos de la vida diaria, por ejemplo, los estudiantes creen que sólo se podría beber una disolución de  $\text{pH}=7$ , cuando algunos refrescos pueden tener un pH del orden de 2,5.

*Zoller* (1990) detecta dificultades en la aplicación de la teoría de Lewis y, 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.

*Ross y Munby* (1991) advierten errores, al nivel macroscópico, en los mapas conceptuales desarrollados por alumnos de secundaria en los que éstos indican que los ácidos tienen sabor amargo y picante, que todas las sustancias con olor agudo o fuerte son ácidos (otros señalan que todas las sustancias que queman son ácidas). En esos mapas conceptuales indican que las comidas son básicas y las sustancias ácidas nunca se deben ingerir porque son fuertes, poderosas y venenosas. *Nakhleh y Krajcik* (1994) comentan que la confusión más común entre un grupo de alumnos de secundaria se refiere a las propiedades físicas y químicas como, por ejemplo, el comentario de algunos alumnos: "si los ácidos son amargos entonces las bases son dulces".

*Schmidt* (1991) describe el problema que tienen los estudiantes de secundaria de Escocia con el concepto de neutralización y 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. 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.

El concepto de pH es muy utilizado para la enseñanza de los contenidos sobre los procesos ácido-base tanto al nivel teórico como en la resolución de problemas. Sin embargo, genera muchas dificultades debidas a las relaciones inversas entre  $[\text{H}^+]$  y el pH. Para evitarlo, *Fortman* (1994) propone el símil de

una balanza que sube y baja, en uno de sus platillos sitúa al pH y en el otro platillo a la  $[H^+]$ . Este mismo autor, resalta que los estudiantes confunden la concentración de un reactivo en disolución y la fuerza. Para superar éste y otros obstáculos, en el número 7 de la revista *Chemecology* (AA.VV., 1996) aparece "el juego del pH" que puede ser utilizado para medir el pH de algunas sustancias cotidianas (agua, disoluciones de muestras de suelo, de plantas y de otras materias orgánicas, etc.).

*Vidyapati y Seethramappa* (1995) pedían a los alumnos que dieran las definiciones de ácidos y bases según las teorías de Arrhenius, Brönsted-Lowry y Lewis, así como ejemplos de cada uno de ellos. Los resultados que obtuvieron parecieron sorprenderles pues, en contra de lo que obtuvo *Cros* (1986), el porcentaje de alumnos que citan correctamente ejemplos de ácidos y de bases es mayor que los que dan correctamente las definiciones científicas. Con respecto a la neutralización, destacan que los estudiantes consideran que se produce una disolución neutra independientemente de que los ácidos o las bases sean fuertes o débiles.

*Salcedo y García* (1997) proponen aprovechar el estudio de aspectos sobre el suelo para plantear situaciones problemáticas relacionadas con la definición de ácido y de base dada por Lewis en 1923. Los resultados indican que la mayoría de los estudiantes utilizan la teoría de Brönsted-Lowry (81%) y la de Arrhenius es utilizada escasamente (19%). Ningún estudiante explica los fenómenos ácido-base desde la teoría de Lewis.

*Ritter y Jhonson* (1997) diseñaron un equipo de valoración *virtual* que centra la atención de los alumnos en la relación entre el pH y el volumen de agente valorante y evita las dificultades de los cálculos volumétricos.

*Carlton* (1997) llama la atención sobre la dificultad que supone introducir, en los primeros cursos universitarios, los conceptos de ácido y base (fuerza, pH, etc.) utilizando previamente los conceptos de equilibrio químico y sus cálculos matemáticos. El autor propone ampliar el tratamiento de la reacción ácido-base como situación completa o incompleta antes de introducir conceptos específicos del equilibrio químico.

Los indicadores ácido-base también constituyen un contenido clave en la enseñanza de los procesos ácido-base. *Cobb* (1998), *VanCleave* (1998) y *Baber* (1996), al igual que *Barral y otros* (1981) citados anteriormente, describen el uso de un indicador fabricado a partir de un producto casero como es el jugo de la lombarda y las ventajas de la aplicación de esta actividad para alumnos de secundaria. *Kanda y otros* (1995) proponen una actividad para preparar *bolas camaleónicas* utilizando extractos de plantas y ofrece una tabla de los colores que muestran diferentes plantas a distintos valores del pH.

*Toplis* (1998) nos muestra que los alumnos que trabajan en el laboratorio con ácidos y con bases mejoran la comprensión de los contenidos implicados, sobre todo la predicción del color del indicador universal en presencia de ácidos y de bases. *Uzelmeier y Breyer* (1998) muestran a algunos alumnos universitarios las diferencias entre algunos indicadores ácido-base que cambian de color si se le añade ácidos o bases, frente a los colorantes alimenticios que no cambian de color por la adición de esas sustancias, de esta forma llaman la atención sobre el peligro de identificar algunos colores con sustancias ácidas o básicas sin tener en cuenta los cambios químicos en el caso de los indicadores ácido-base.

*Toplis* (1998) pone de manifiesto que inicialmente los estudiantes identifican ácido con peligroso, tóxico y venenoso para el organismo o que son sustancias que queman.

La exposición, de las concepciones anteriores, pone de manifiesto que la mayoría de los estudios didácticos, indagan las concepciones alternativas de los alumnos de secundaria (13-18 años). Aquí queremos explorar los contenidos que manejan los estudiantes universitarios. Para ello, hemos diseñado una prueba en la que hemos tenido en cuenta las concepciones diagnosticadas por otros autores y los contenidos científicos destacados en párrafos anteriores. El diseño de la prueba y la metodología de investigación los mostramos en el siguiente apartado.

## **OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

El objetivo fundamental de este trabajo es indagar las concepciones alternativas de los estudiantes *universitarios* de la Licenciatura de Ciencias Químicas por medio de una prueba diseñada por nosotros. Para el diseño de dicha prueba se ha tenido en cuenta la revisión bibliográfica que hemos resumido en el apartado anterior y el desarrollo histórico de los contenidos sobre los procesos ácido-base que han sido ampliamente descritos en trabajos previos (Jiménez-Liso, 2000 y De Manuel y otros, 1999a y b).

La prueba ha sido sometida 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, España) y validada tras una primera aplicación a un grupo reducido de alumnos. Una vez atendidas las sugerencias de los expertos y realizadas pequeñas modificaciones tras la primera aplicación, se pasó a un grupo numeroso de alumnos universitarios (N=450) de los cinco cursos (18 años en adelante) que componen la Licenciatura de Ciencias Químicas de varias universidades españolas durante el curso 97-98.

Una breve descripción de las características del alumnado universitario y de la enseñanza que reciben, permitirá tener una referencia sobre estos aspectos que deben ser considerados en el problema de investigación. Los estudiantes de la Licenciatura de Ciencias Químicas suelen comenzar con 18 años y tienen que superar 5 cursos (en algunas universidades se redujo a 4 cursos) para conseguir el grado de Licenciado. Cada Universidad elabora un plan de estudios diferente con lo que es muy difícil generalizar

sobre los currículos de los estudiantes, es decir, en qué momentos y cómo se les presentan a los estudiantes los contenidos relacionados con los procesos ácido-base. Un primer sondeo por los programas de las asignaturas de la Licenciatura de Ciencias Químicas de las Universidades españolas que colaboraron con nuestra investigación, nos revela que los contenidos relacionados con los procesos ácido-base se suelen tratar en los primeros cursos: de forma obligatoria en asignaturas de Química Analítica y Química Inorgánica, con denominaciones diversas (Química Analítica I y II; Química Inorgánica I, etc.) y de forma optativa en asignaturas como la Introducción a los equilibrios iónicos, Iniciación al laboratorio químico, etc. En todas las asignaturas aparecen bajo diversos epígrafes: reacciones ácido-base, volumetrías ácido-base, disoluciones iónicas o teorías ácido-base. De este primer análisis resulta llamativo que los procesos ácido-base aparezcan en varias asignaturas de un mismo curso y se vuelvan a repetir en cursos diferentes.

Podemos decir, por experiencia personal, que estos contenidos suelen presentarse utilizando la transmisión-recepción como metodología de enseñanza por parte del profesorado universitario (Perales, 1998) y, aunque en este nivel no es tan importante la dependencia con respecto a los libros de texto como en otros niveles educativos (Chiappeta et al., 1991; Otero, 1990), se suele recomendar a los alumnos la consulta de escasos textos. De esta forma, un buen criterio para analizar qué contenidos se enseñan en los niveles universitarios puede ser el análisis de los libros que manejan, independientemente de las asignaturas y los cursos en los que los utilicen. Los resultados de la indagación del tratamiento que los libros universitarios le conceden a los contenidos ácido-base los presentamos en un trabajo previo (Jiménez-Liso y otros, en prensa).

La breve descripción de los currículos universitarios permite contextualizar la enseñanza recibida por estos alumnos sobre los contenidos relacionados con los procesos ácido-base. Las revisiones bibliográfica, histórica y de la enseñanza recibida por los estudiantes diagnosticados, sirvieron para fundamentar el diseño de la prueba que consta de 16 ítems en los que se indaga sobre las definiciones de ácidos y bases que aplican los alumnos (ítems 1, 6, 11 y 15), sobre la desconexión que existe entre la teoría que aprenden y su aplicación práctica (ítems 2, 5 y 8), sobre la relación que los alumnos establecen entre el pH y la fuerza y la concentración de los ácidos (ítems 4, 7, 8 y 14), sobre el mecanismo de funcionamiento de los indicadores (ítem 12), sobre la fuerza de los ácidos y las bases (ítems 3, 4 y 10; éste último relacionado también con la búsqueda en la Historia de la "disolución unidad" o de referencia). Se diseñaron dos ítems relacionados con las disoluciones reguladoras o tampones (ítems 4 y 9) para completar una prueba en la que se intenta indagar sobre conceptos de alto nivel cognitivo como después se pudo comprobar con los resultados obtenidos. La prueba completa figura en el anexo I.

En todos los ítems se pedía que se justificara la respuesta. Estas justificaciones abiertas, de carácter cualitativo, nos sirven para confirmar algunas ideas o resultados ya investigados y también nos permite explorar concepciones que manejen los alumnos que no estén contempladas explícitamente en las opciones que se les ofrecen en la prueba.

### **3. RESULTADOS OBTENIDOS**

Los resultados que vamos a mostrar se obtuvieron al aplicar la prueba a 450 alumnos universitarios de varias Universidades españolas distribuidos por cursos como figura en la Tabla 2.

**Tabla 2. Distribución de alumnos por cursos.**

¡Error! Marcador no definido.Curso	1° (18 años mínimo)	2° (19 años mínimo)	3° (20 años mínimo)	4° (21 años mínimo)	5° (22 años mínimo)	TOTAL
N	81	78	102	107	82	450

En la Tabla 3 se detallan las respuestas elegidas por los alumnos, en tantos por ciento; se ha señalado con asterisco la opción correcta. Las opciones de los alumnos a cada ítem fueron sometidas a un tratamiento estadístico sencillo que se detalla ampliamente en Jiménez-Liso (2000) y las respuestas abiertas para las justificaciones han sido agrupadas por similitud, categorizadas y jerarquizadas por la frecuencia de alumnos que las utilizan (Jiménez-Liso, 2000) para poder analizarlas y compararlas con los resultados cuantitativos.

**Tabla 3. Distribución de las respuestas (en %)**

e = otras respuestas; s = Sí; n = No; v= Verdadero; f = Falso;

BL = blanco o nulo; \* = respuesta correcta

(N=450)

¡Error! Marcador no definido.Resp ítem	a	b	c	D	e	s	n v	BL f
1	---	---	---	---	---	92*	5	3
2	44	24	7*	1	16	---	---	7
3	24	5	30	26*	9	---	---	6
4	10	28*	28	11	11	---	---	10
5	23	31	25*	7	2	---	---	12
6	---	---	---	---	---	26*	68	6
7	44	8	13	22*	5	---	---	7
8	14	51	13	10*	5	---	---	6
9	28*	8	22	21	6	---	---	15
10	25	7	22*	31	6	---	---	10



ítem	a	b	c	D	e	s	n	BL
11	---	---	---	---	---	10*	80	10
12	8*	39	28	14	3	---	---	8
13	14*	13	2	50	5	---	---	15
14	12*	17	20	25	6	---	---	20
15	---	---	---	---	---	17*	69	13
16 <sup>a</sup>	---	---	---	---	---		64	23* 13
16B	---	---	---	---	---		46	44* 10
16C	---	---	---	---	---		8	82* 9
16D	---	---	---	---	---		65*	23 12

A continuación analizaremos los resultados por temas: teorías ácido-base, neutralización, fuerza de los ácidos y de las bases, conservación de la cantidad de sustancia, equilibrios ácido-base, hidrólisis e indicadores y comentaremos las justificaciones de los alumnos a cada ítem.

#### Aplicación de las teorías sobre ácidos y bases a casos concretos.

En los ítems 1, 6, 11 y 15 se intenta averiguar qué teorías sobre los ácidos y las bases manejan los alumnos. Se les plantea cuatro reacciones ácido-base según diferentes teorías y deben decir si son procesos ácido-base y justificarlo. Las reacciones ácido-base planteadas en cada ítem son:

- Ítem 1: Proceso de transferencia de protones. Teorías de Arrhenius y de Brönsted-Lowry.
- Ítem 6: Proceso de autoionización de un disolvente. Transferencia de iones ( $O^{2-}$ ). Teoría de los disolventes y teoría "ionotrópica".
- Ítems 11 y 15: Proceso de formación de un enlace coordinado. Donación de un par de electrones. Teoría de Lewis.

El número total de alumnos que aciertan cada ítem se muestran en la Tabla 4. También se han contabilizado aquellos alumnos que han acertado una, dos, tres y cuatro reacciones (Tablas 4 y 5).

**Tabla 4. Número de alumnos (N=450) que reconocen 1 o 2 reacciones.**

¡Error! Marcador no definido.Una reacción				Dos reacciones					
It. 1	It. 6	It. 11	It. 15	I1+I6	I1+I11	I1+I15	I6+I11	I6+I15	I11+I15
353	117	31	53	100	25	40	14	15	18

**Tabla 5. Número de alumnos (N=450) que reconocen 3 o 4 reacciones.**

¡Error! Marcador no definido.Tres reacciones				Cuatro reacciones
I1+I6+I11	I1+I6+I15	I1+I11+I15	I6+I11+I15	Todos los ítems
13	13	14	8	7

La Tabla 4 muestra cómo decrece el número de los alumnos que reconocen un proceso como ácido o base al aumentar la complejidad de la teoría que hay que aplicar. La mayoría (353 que corresponde a un 78%) aplican la teoría de Brönsted, un 26% (117 alumnos) la teoría relacionada con los disolventes y sólo un 7-12% la de Lewis. Son muy llamativos los datos de la Tabla 5 que muestran que menos del 2% (sólo 13 alumnos) de los alumnos encuestados aplican las tres teorías.

### Concepto de neutralización

En la prueba se diseñaron dos ítems relacionados con este contenido (ítems 2 y 5, ver prueba completa en Anexo I). En el primero de ellos (Ítem 2), se indaga sobre qué alimentos se pueden ingerir sin peligro, según el valor del pH que posean. Los resultados cuantitativos de este ítem (Tabla 3), ponen de manifiesto que el 44% de los alumnos diagnosticados sólo beberían 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 primer 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 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 (Ítem 5), 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 esto, 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 ponen 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 independientemente del pH final, 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 ac-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).

#### Fuerza de los ácidos y de las bases (ítems 4 y 8)

También incluimos en la prueba dos ítems relacionados con la fuerza de los ácidos y de las bases: en uno de ellos (ítem 4) se buscaba si los alumnos reconocen la acción de un ácido o de una base sobre el efecto regulador de una disolución tampón, por su fuerza, por su concentración o, como es el caso, por la cantidad total de equivalentes que intervienen en el proceso. Un  $pH=3$  equivale a una baja concentración de  $H_3O^+$  ( $10^{-3}$ ). Pues bien, en el ítem 8, se aprovecha un fenómeno cotidiano y muy conocido como es la lluvia ácida para ver si los alumnos atribuyen el valor del pH relativamente bajo de 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.

Los resultados de ambos ítems, que aparecen en la Tabla 3, ponen de manifiesto que la mayoría de los alumnos conceden mayor importancia a la fuerza de los ácidos y de las bases implicados en los dos procesos, sin considerar otras variables como son la concentración y el volumen. La fuerza de un ácido o de una base es considerada por los alumnos (51% en el ítem 8) como la variable que más incide en la acidez del medio, es decir, ácidos fuertes producen valores del pH bajos ( $pH \sim 2$ ) y viceversa, un medio con valores del pH bajos necesariamente tiene que tener ácidos fuertes.

El 28% de los alumnos universitarios diagnosticados han elegido en el ítem 4 la fuerza como la característica de los ácidos y de las bases que puede hacer que las disoluciones reguladoras dejen de ser efectivas, sin tener en cuenta que se puede añadir pequeñas cantidades de ácidos fuertes y estas disoluciones sigan regulando el pH.

Las justificaciones de los estudiantes al responder a estos dos ítems confirman lo indicado en el estudio cuantitativo de las opciones múltiples, por ejemplo, muchos de ellos explican que un *pH "extremo"* ( $pH=3$  en el caso de la lluvia ácida) está únicamente relacionado con la presencia de ácidos (o bases) fuertes independientemente de la cantidad de éstos que haya. En torno a un 20% de las justificaciones del ítem F-1 muestra que estos alumnos no tienen en cuenta ninguna de las variables relacionadas con la cantidad, es decir, ni la concentración ni el volumen, por el contrario, consideran la fuerza de los ácidos y de las bases como factor único determinante en la regulación del pH de una disolución tampón a la que se le adiciona una cierta cantidad de ácido o de base. Un grupo numeroso de estas justificaciones señalan la idea de que los ácidos (o bases) fuertes provocan un descenso (o aumento) brusco del pH del tampón sobre el que se añaden: *"Porque los fuertes dan un pH por ellos mismos, no influiría apenas la disolución tampón"* (4º curso); *"Porque cuanto más fuerte es el ácido, más  $H^+$  tenemos y, por tanto, la disolución tampón será menos efectiva"* (4º curso); *"Si se añaden ácidos o bases*

*fuertes puede variar el pH bruscamente"* (3<sup>er</sup> curso).

De estas respuestas nos llama la atención el hecho de que en alguna de ellas se explicita que los ácidos (o bases) fuertes "den" o "tengan" un pH bajo (o alto) por ellos mismos, como si fuera una propiedad intrínseca o exclusiva.

Otras respuestas señalan que la adición de ácidos o bases fuertes "rompen" el equilibrio de la disolución reguladora. La idea de hacer referencia al equilibrio podría ser la mejor forma para razonar la respuesta correcta; sin embargo, en éstas encontramos argumentos que hacían pensar que no manejaban correctamente los conceptos relacionados con los equilibrios sino que tenían la idea de irreversibilidad en los procesos pues para ellos se desplazaba totalmente en un sentido u otro.

Otros estudiantes afirman en sus justificaciones que no se pueden añadir ácidos o bases fuertes porque éstos están muy disociados y ello provocaría un desplazamiento "total" de la reacción en un sentido o en otro: *Al añadir ácido y base fuerte estamos rompiendo el equilibrio* (5<sup>o</sup> curso); *Ya que un tampón consiste en una disolución en la que coexisten la forma ácida y básica de un compuesto; si es fuerte, la otra forma conjugada no existirá* (5<sup>o</sup> curso); *Porque en los ácidos o bases fuertes el equilibrio está totalmente desplazado a la derecha* (4<sup>o</sup> curso); *Si son muy fuertes están totalmente disociados y tenemos el equilibrio muy desplazado hacia los productos* (3<sup>er</sup> curso), etc.

Otro tipo de respuestas que debemos comentar especialmente son aquellas (~1%) en las que se explica que si los ácidos y las bases son fuertes no reaccionan con ninguna especie, por ejemplo, *si los ácidos o bases son muy fuertes estarán totalmente disociados y la base o ácido conjugado no reaccionará con ninguna otra especie para formar la disolución tampón* (1<sup>er</sup> curso); *Si son fuertes no reaccionan* (3<sup>er</sup> curso). El porcentaje es muy bajo pero resulta llamativo que aflore la idea de que el equilibrio de los ácidos fuertes es irreversible, es decir, que por el hecho de estar totalmente disociado sólo se da la disociación, sin poderse dar otra reacción con ninguna especie. Se está confundiendo el concepto de "fuerte" con el de "inerte", es decir, por ser fuerte no reacciona. Parece lógico pensar que se identifique débil con inerte, sin embargo, sólo hemos encontrado un alumno que de primer curso que lo indique en su justificación: *No deben añadirse ácidos o bases débiles porque si no no reaccionarían*.

#### Conservación de la cantidad de sustancia (ítems 3, 10 y 13)

Previo a la descripción de los ítems diseñados para el diagnóstico de la *conservación de la cantidad de sustancia*, es preciso comentar que ésta es, a nuestro juicio, una *operación piagetiana* que consiste en centrar la atención en la cantidad de sustancia que interviene en una reacción aislandola de factores que no alteran dicha cantidad, como la dilución, por ejemplo. Hemos comprobado que muchos alumnos consideran como determinantes únicos de un proceso, factores que por sí solos no lo son, como por ejemplo la concentración (olvidando el volumen), o la fuerza de un ácido (olvidando la cantidad real de éste que está presente).

Se intenta poner de manifiesto si los alumnos conocen que lo importante de determinar en una valoración, es la cantidad de sustancia (equivalentes de ácido o de base) que hay en una muestra, en su caso en una disolución problema y que no afecta la dilución con una sustancia inerte (el agua). Para ello

utilizamos tres ítems en los que se indaga este aspecto, presentándolo (ítem 3) por medio de una duda habitual en los laboratorios como es si se puede añadir cantidades desconocidas de agua al matraz en el que está la muestra. En el ítem 10 se plantea la determinación del contenido de una sustancia soluble en agua en una muestra sólida y el ítem 13 plantea lo mismo por medio de un enunciado más directo. En todos ellos, se trata de indagar si los alumnos reconocen que sólo necesitan conocer la cantidad de moles (o equivalentes) de valorante para determinar la cantidad de sustancia problema en una valoración o bien piensan que hay que conocer, además, el volumen y la concentración de valorante o el volumen de la muestra. Es decir, si muestran una excesiva dependencia de la expresión  $V \times N = V' \times N'$ .

Los resultados de estos tres ítems (Tabla 3) ponen de manifiesto que la mayoría de los estudiantes de la Licenciatura de Ciencias Químicas no dominan la **operación de conservación de la sustancia** en los procesos de dilución sino que se centran mayoritariamente en mantener inalterada la concentración de la muestra (24% de los estudiantes eligieron la opción "a" del ítem 3, 25% eligieron la opción "a" del ítem 10 y el 13% para la opción "b" del ítem 13 que expresaban esta idea de diferentes formas). De forma contraria, los alumnos que han respondido correctamente en estos tres ítems (26%, 22% y 14% en los ítems 3, 10 y 13, respectivamente) utilizan de forma adecuada esta operación, es decir, en las valoraciones ácido-base no importa que se añada agua porque la cantidad de sustancia a determinar, permanece inalterada.

Los resultados cuantitativos están avalados por las justificaciones de los estudiantes quienes afirman las siguientes frases más características por el número de alumnos que las expresa: en el ítem 3, por ejemplo, comentan que *"Si variamos la concentración de la muestra, también varía la cantidad de base que tenemos que adicionar"* (4º curso); *"Porque al añadir más agua la concentración disminuye"* (1º curso); *"El agua modificaría la concentración del ácido"* (2º curso); *"Si añado más agua diluiré el ácido, disminuyendo su concentración"* (4º curso). En el ítem 10 se plantea una situación parecida, para muchos alumnos, aunque se conozca la cantidad, es necesario conocer la concentración de la disolución y, por tanto, es preciso conocer el volumen exacto de disolución que se valora: *Porque a partir de un patrón podemos conocer su concentración exacta, pero para ello necesitamos saber con la mayor precisión su volumen y su masa* (2º curso); *Las sustancias patrones hay que pesarlas exactamente y enrasarlas perfectamente* (4º curso); *Para preparar una disolución patrón hay que pesar exactamente el sólido y añadirle el agua necesaria para esa concentración* (5º curso) y centrándose exclusivamente en mantener inalterada la concentración: *Ya que se tiene que conocer exactamente la concentración de la disolución de  $\text{NaHCO}_3$*  (2º curso); *Debemos conocer previamente la concentración exacta de esa disolución* (1º curso); *Es necesario conocer la concentración exacta de  $\text{NaHCO}_3$  para poder determinar la de ácido* (4º curso).

Los resultados de otras opciones ponen de relieve la dependencia que manifiestan los estudiantes por una expresión matemática para la resolución de los problemas de valoraciones. Para muchos alumnos (30%, 25%, 50% en los ítems 3, 10 y 13, respectivamente) la expresión  $V \times N = V' \times N'$  es casi el único recurso para la resolución de los problemas planteados en los ítems. Es llamativo que en el ítem 3, donde se indaga más directamente esta cuestión, la mitad de los estudiantes diagnosticados haya optado por la opción "d" en la que se expone que es preciso conocer tres de los cuatro parámetros de la citada expresión. Esto se pone de manifiesto en que la mayoría de las justificaciones de los tres ítems aparece la

expresión. Esas respuestas abiertas revelan que los estudiantes necesitan conocer tres variables de la expresión  $V_a N_a = V_b N_b$ : "Es cierto ya que  $N_a V_a = N_b V_b$ " (3<sup>er</sup> curso); "Al preparar una concentración hay que tener en cuenta el volumen y la relación  $C_a V_a = C_b V_b$ " (2<sup>o</sup> curso);  $N_{ac} V_{ac} = N_{base} V_{base}$ . Necesito saber la concentración de la base y el volumen de la base y del ácido (3<sup>er</sup> curso).

### Equilibrios ácido-base

En la prueba que figura en el Anexo I se incluyen dos ítems (7 y 14) en los que se buscaba si los alumnos consideran la existencia de los equilibrios entre todas las especies químicas que intervienen en una valoración o en un proceso estequiométrico. Además en estos ítems se indagaba si los estudiantes razonaban secuencialmente el proceso, es decir, si consideran una secuencia de pasos para los equilibrios (reacción ácido-base  $\rightarrow$  neutralización  $\rightarrow$  hidrólisis  $\rightarrow$  pH $\neq$ 7).

Los resultados del ítem 7 (tabla 3) ponen de manifiesto que la mayoría de los estudiantes se decanta por el razonamiento causal secuencial descrito en la opción "a". En el ítem 14 las respuestas mayoritarias se reparten entre el proceso secuencial (20%) y el que se centra en la estequiometría (25%). En las dos opciones se plantea que en el punto de equivalencia se produce la neutralización (pH=7), sin embargo, una opción se centra exclusivamente en el proceso estequiométrico (en este valor del pH) y la otra opción manifiesta la continuación del proceso (hidrólisis posterior que hace variar el pH).

Las justificaciones de los estudiantes al responder a estos ítems confirman lo indicado en el estudio cuantitativo de las opciones múltiples, por ejemplo: *Se produce una reacción de neutralización primero y por posterior formación del acetato sódico, se hidroliza el  $CH_3COO^-$  liberando  $OH^-$  al medio siendo pH>7* (alumno de 5<sup>o</sup> curso); *Al ser reacción de neutralización se produce  $CH_3COONa$  y  $H_2O$  y como el acetato proviene de ácido débil sufre hidrólisis* (5<sup>o</sup> curso); *Se produce la valoración del  $AcH \rightarrow AcNa$ , y como el  $AcH$  es ácido débil  $\rightarrow$  base conjugada fuerte  $\rightarrow$  se hidroliza  $\rightarrow$  pH>7* (3<sup>er</sup> curso) y lo mismo para las justificaciones al ítem 14: *Justo en el punto de equivalencia el pH=7, posteriormente al hidrolizarse  $NH_4^+ + H_2O \rightarrow NH_3 \cdot H_2O + H^+$*  (4<sup>o</sup> curso); *En un principio el pH=7 en el punto de equivalencia, pero al pasar un tiempo desciende por la hidrólisis del  $NH_4^+$*  (3<sup>er</sup> curso).

Después de analizar y categorizar por similitud todas las respuestas abiertas (Jiménez-Liso, 2000), creemos que una de las causas de este razonamiento tan arraigado y persistente puede estar en la utilización del término "neutralización" para cualquier proceso ácido-base como así se pone de manifiesto en las siguientes justificaciones: *En el punto de equivalencia se habrá neutralizado todo  $NH_3$  y su pH=7* (5<sup>o</sup> curso); *Neutralizamos la reacción, porque añadimos un ácido a una base.  $Eq_{ác} = eq_{base}$*  (4<sup>o</sup> curso); *Porque el punto de equivalencia es justo cuando toda la base se ha neutralizado el ácido* (4<sup>o</sup> curso); *Se neutralizan* (2<sup>o</sup> curso); *El ácido y la base se neutralizarían* (1<sup>er</sup> curso).

Con respecto a las justificaciones de la opción correcta, en algunos casos se utiliza el razonamiento secuencial descrito anteriormente. Resulta curioso que un pequeño porcentaje de alumnos rechacen la opción que se ofrece en el ítem 7 que hace referencia al equilibrio por etapas y elijan la opción correcta,

esto parece manifestar que consideran que los equilibrios transcurren de forma simultánea y no secuencial aunque no expresen todos los equilibrios que tienen lugar sino los que dan  $\text{OH}^-$  como producto de la reacción y, por tanto, como argumento de por qué la disolución final es básica. El resto de las justificaciones a la opción correcta, hacen referencia a las fuerzas relativas del ácido y de la base presentes en los distintos procesos.

### Indicadores ácido-base

Con el objetivo de contrastar si los estudiantes ponen en juego todos los equilibrios que intervienen en un proceso múltiple (incluido el equilibrio del indicador), incluimos un ítem (12) en la prueba, relacionado con los indicadores ácido-base, en el que se ofrecían diversas opciones: desde la que no tiene en cuenta ni el intervalo de viraje ni el equilibrio del indicador hasta la opción correcta en la que se consideran ambos factores.

En la tabla 3 se puede observar que sólo un 8% de los estudiantes universitarios diagnosticados eligieron la opción correcta mientras que la opción en la que no se tiene en cuenta ni el intervalo de viraje ni que las dos formas del indicador coexisten siempre en equilibrio es elegida por el 39% de ellos. Un 28% eligieron la opción "c" (con intervalo-sin equilibrio) y un 14% optaron por la respuesta "d" (sin intervalo-con equilibrio).

Sólo en algunas de las justificaciones a la opción correcta se explica claramente que el indicador se encuentra en equilibrio en todo el proceso y que, además, existe un intervalo de viraje, por ejemplo: *Ya que cuando nosotros apreciamos un solo color es porque la concentración de una especie es, al menos, 10 veces mayor que la de la especie conjugada  $\Rightarrow$  pueden coexistir ambas* (5º curso); *Porque el ojo humano tiene que haber una [] de indicador igual a 10 veces más para verlo* (4º curso).

En otras justificaciones sólo se explicita una de las dos ideas a tener en cuenta: *Al valorar el ácido también habrá pequeña cantidad de  $\text{OH}^-$  luego existirá la otra forma del indicador* (5º curso); en esta respuesta se pone de manifiesto la existencia de las dos formas del indicador pero no se comenta nada del intervalo de viraje; en otra respuesta, por el contrario se manifiesta la idea de intervalo pero no se comenta nada de si el indicador está en equilibrio en todo el proceso: *Porque como la variación de pH es cte el cambio de color no puede ser brusco* (1º curso); *Según la teoría de Oswald pH intervalo de viraje= $[\text{pK}-1, \text{pK}+1]$ . Esta teoría no es muy exacta porque para predecir el comportamiento de indicadores no se basa en su estructura* (2º curso); *Ese es el intervalo de viraje del indicador* (3º curso).

En una opción del ítem (opción "b") se plantea una idea que aparece en un libro de principios del siglo XX (Monzón, 1917): "el indicador es una sustancia que reacciona con la solución valorada solamente cuando ha reaccionado toda la sustancia que se analiza". En ella, se manifiesta una interpretación macroscópica del proceso que sufre el indicador pues se hace referencia a un fenómeno observable como es que a un determinado valor del pH el indicador cambia totalmente sin transición de una forma (y color) a otra, como ejemplo de respuestas similares dadas por los alumnos podemos citar: *El proceso es muy rápido y no da tiempo a que se vea colores mezclados, sino un cambio radical de un color a otro* (1º curso); *La base que se añade irá reaccionando con el ácido que hay en la disolución, hasta que haya reaccionado todo, luego la base reacciona con los  $\text{H}^+$  del indicador pasando éste a su*



*forma básica* (5º curso). Este es el tipo de respuestas más abundantes.

Algunas respuestas proponen la idea de que las dos formas del indicador no están en equilibrio, sólo se mezclan en un intervalo del pH: *A pH ácido sólo está la forma ácida y a pH básico la básica pero en un intervalo existen las dos hasta que en un sitio determinado cambia de color* (5º curso); *Al comenzar la valoración el indicador está en forma ácida, cuando se llega al pH al que vira, una unidad antes y otra después están las dos formas* (5º curso).

## CONCLUSIONES

La encuesta que hemos diseñado y aplicado nos aporta unos datos que no sólo se basan en el análisis estadístico relativo a las opciones que eligen los estudiantes universitarios encuestados sino que, además, vienen avalados especialmente por las justificaciones que éstos dan a la opción elegida. Los resultados pueden ser útiles a los docentes universitarios para que presten especial cuidado en la enseñanza de los contenidos relacionados con los procesos ácido-base y para que, en el diseño de estrategias didácticas, se tengan en cuenta las siguientes concepciones alternativas, algunas descritas por otros autores para los niveles medios de enseñanza, lo que manifiesta su persistencia:

- A pesar de la repetición de contenidos, en los primeros cursos universitarios, como la exposición de las teorías ácido-base, los estudiantes suelen centrarse exclusivamente en la teoría de Brönsted-Lowry, concediendo poca importancia a las otras teorías.
- Los estudiantes atribuyen los valores bajos del pH ( $\sim 2,5$ ) sólo a la fortaleza de los ácidos o a su alta concentración, ignorando otros factores. Por otra parte consideran que estas sustancias son venenosas para el organismo. Por el contrario, identifican "neutro" con "inocuo" e "inerte".
- El razonamiento causal secuencial está muy presente en los estudiantes de química del nivel universitario, la mayoría de estos alumnos no consideran la situación de equilibrios simultáneos durante todo el proceso de valoración; por ejemplo, no consideran el equilibrio de las dos formas del indicador ni su intervalo de viraje.
- La utilización del término "neutralización" en las valoraciones ácido-base, con independencia del pH final, provoca que los estudiantes consideren que en el punto de equivalencia el  $\text{pH}=7$  y que, dependiendo de las fuerzas relativas de los ácidos y bases utilizados, este pH variará por la posterior hidrólisis de la sal.
- Está muy extendida la falta de utilización de la operación de **conservación de la cantidad de sustancia** en los procesos de dilución, por ejemplo, al añadir una sustancia inerte (agua) en una valoración. Del mismo modo, la mayoría de los estudiantes universitarios muestran una excesiva dependencia de una expresión matemática para resolver de forma mecánica los problemas de valoraciones sin profundizar en el proceso químico.

## BIBLIOGRAFÍA.

AA.VV. (1996). The pH game. *Chemecology*, 25 (7), pp 7-9.

BABER, J. (1996). *Of cabbages and Chemistry*. Lawrence Hall of Science. Berkeley.

BARRAL, A., COROMINAS, J., GIL, A. E IZQUIERDO, M. (1981). Jugando con indicadores. *Cuadernos de Pedagogía*, 8 (10), p 72.

CARLTON, T.S. (1997). Why and How to teach acid-base reactions without equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 74 (8), pp 939-941.

CHIAPPETA, E.L.; FILLMAN, D.A. Y SETHNA, G.H. (1991). A quantitative analysis of high school chemistry textbooks for scientific literary themes and expository learning aids. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, pp. 939-951.

COBB, V. (1998). Cobb's red cabbage indicator. *Chemecology*, 27 (2), pp 15.

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 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*, número extra, p 61.

DE MANUEL, E.; JIMÉNEZ, 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*. Servicio de publicaciones de la Universidad de La Coruña. pp. 359-368.

DE MANUEL, E.; JIMÉNEZ, 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. *La Didáctica de las Ciencias. Tendencias Actuales*. Servicio de publicaciones de la Universidad de La Coruña. pp. 369-380.

ESPINET, M. E IZQUIERDO, M. (1983). ¿Cómo se identifican las sustancias? *Cuadernos de Pedagogía*, 106 (10), pp 67-69.

FORTMAN, J.J. (1994). Pictorial analogies XI: concentrations and acidity of solutions. *Journal of Chemical Education*, 71 (5), pp 430-432.

JIMÉNEZ-LISO, M.R. (2000). *Contenidos relacionados con los procesos ácido-base: diagnóstico y propuestas didácticas al nivel universitario*. Tesis Doctoral no publicada. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Granada.

JIMÉNEZ-LISO, M.R.; DE MANUEL, E. Y SALINAS, F. (en prensa). Analysis of the content of secondary education and university textbooks concerning acid-base processes: comparative study of present-day and historical (1868-1955) textbooks, *C.E.R.A.P.I.E*, (Artículo enviado para su publicación).

KANDA, N. Y OTROS. (1995). Preparing "Chameleon Balls" from natural plants: simple homemade pH indicator and teaching material for chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 72 (12), pp 1131-1132.

MONZÓN, J. (1917). *Elementos de Química General*. Imp. y Lib. Eulogio de las Heras. Sevilla.

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.

OTERO, J. (1990). Variables cognitivas y metacognitivas en la comprensión de textos científicos: el papel de los esquemas y el control de la propia comprensión. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), pp. 17- 22.

PERALES, F.J. (1998). La formación del profesorado universitario en Didáctica de las Ciencias Experimentales. *Revista de Educación de la Universidad de Granada*, 11, pp. 345-354.

RITTER, D. Y JOHNSON, M. (1997). Virtual titrator: a student oriented instrument. *Journal of Chemical Education*, 74 (1), pp 120-123.

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.

SALCEDO, L.E. Y GARCÍA, J.J. (1997). Los suelos en la enseñanza de la teoría ácido-base de Lewis. Una estrategia didáctica de aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (1), pp 61-67.

SCHMIDT, H.J. (1991). A label as a hidden persuader: chemists' neutralization concept. *International Journal of Science Education*, 13 (4), pp 459-471.

TOPLIS, R. (1998). Ideas about acids and alkalis. *School Science Review*, 80 (291), pp. 67-70.

UZELMEIER, C.E. Y BREYER, A.C. (1998). Red shoe-blue shoe: an acid-base demonstration with a fashionable twist. *Journal of Chemical Education*, 72 (2), pp 183-184.

VANCLEAVE, J. (1998). Hands-on science: Is it an acid or a base? These colorful tests tell all! *Instructor (Primary)*, 107 (6), pp 97-98.

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.

## ANEXO I

### PRUEBA OBJETIVA PARA EL DIAGNÓSTICO SOBRE LOS CONCEPTOS DE ÁCIDOS Y BASES.

*Estamos realizando un trabajo con el que se pretende dar una mejor orientación a la enseñanza y aprendizaje de los conceptos de ácidos y bases. Le rogamos su máxima atención en la resolución de este cuestionario y le agradecemos su colaboración.*

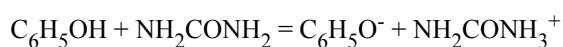
***Conteste todas las preguntas en el estadillo adjunto. Cualquiera que sea la opción elegida, justifique la respuesta.***

- Excepto las preguntas 1, 6, 11, 15 y 16, elija la respuesta que crea correcta.

- En las preguntas 1, 6, 11 y 15 hay que elegir entre "sí" y "no".

- En la pregunta 16 hay que decir de las cuatro respuestas cuáles son verdaderas y cuáles falsas y justificar todas las respuestas.

1. Diga si la siguiente reacción corresponde a un proceso ácido-base, y por qué. En caso afirmativo, indique si el ácido corresponde al reactivo M o al N.



M      N

2. 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.

3. Queremos determinar la normalidad de una disolución de ácido. Para ello ponemos una muestra en un matraz. Una vez

hecho esto:

- a) no se puede añadir más agua porque durante la valoración no se puede variar la concentración de la muestra,
- b) no se puede añadir más agua al matraz porque esto obligaría a añadir más volumen de base,
- c) no importa que se añada agua al matraz porque tanto el ácido que hay en el matraz como la base que se añade desde la bureta se diluyen en la misma proporción,
- d) no importa que se añada agua, porque la cantidad de base que se necesita para terminar la valoración no depende de la concentración del ácido en el matraz,
- e) otra respuesta.

Justifique la respuesta.

**4.** La acción reguladora del pH de una disolución tampón es efectiva siempre que:

- a) no se añadan ácidos o bases muy concentrados,
- b) no se añadan cantidades excesivas de ácidos o bases,
- c) no se añadan ácidos o bases muy fuertes,
- d) no se añadan volúmenes elevados de ácidos o bases,
- e) otra respuesta.

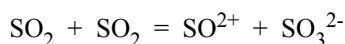
Justifique la respuesta.

**5.** El sabor ácido se debe a la presencia de iones  $\text{H}_3\text{O}^+$  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  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ ,
- 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.

**6.** Diga si la siguiente reacción corresponde a un proceso ácido-base, y por qué. En caso afirmativo, indique si el ácido corresponde al reactivo M o al N.



M      N

**7.** Si se van añadiendo n moles de NaOH (en disolución acuosa) a n moles de  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (también en disolución acuosa) sucede lo siguiente:

- a) se forman n moles de  $\text{NaCH}_3\text{COO}$  y posteriormente se produce una hidrólisis, el pH será mayor que 7,
- b) al no haber exceso de moles del ácido ni de la base, se obtiene una disolución cuyo pH es 7,

- c) en la disolución se cumplirá:  $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{Na}^+]$  y  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ ; el pH será 7,
- d) en la disolución habrá un número de moles de  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^-$  tal que el pH será mayor que 7,
- e) otra respuesta.

Justifique la respuesta.

**8.** Debido a las emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno se forman en las nubes los ácidos sulfúrico y nítrico. Al precipitarse las gotas se produce lo que se conoce con el nombre de “lluvia ácida” que puede tener un valor del pH igual a 3. Esto se debe a que:

- a) se forman gotitas de los citados ácidos,
- b) los ácidos formados son fuertes,
- c) los ácidos formados están muy concentrados,
- d) los ácidos formados están muy diluidos,
- e) otra respuesta.

Justifique la respuesta.

**9.** Para mantener relativamente constante el pH de una disolución suele emplearse una mezcla de carbonatos e hidrogenocarbonatos;

- a) porque los ácidos o las bases que se adicionen son neutralizados por alguno de estos iones,
- b) porque los dos aniones se hidrolizan y dan siempre un pH determinado,
- c) porque las disoluciones que contienen conjuntamente  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  tienen siempre un cierto pH,
- d) la acción reguladora sólo se da si los iones  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  se encuentran en proporciones equimolares,
- e) otra respuesta.

Justifique la respuesta.

**10.** Para valorar un ácido, se puede emplear, como sustancia patrón, el  $\text{NaHCO}_3$ . Para ello se pesa, lo más exactamente posible, una cantidad de este sólido y se disuelve en agua. Esta disolución, que reaccionará con el ácido añadido desde la bureta:

- a) se tiene que preparar previamente poniendo el sólido pesado en un matraz aforado y enrasando con agua,
- b) se puede preparar poniendo el sólido en el mismo matraz erlenmeyer en el que va a reaccionar, midiendo exactamente la cantidad de agua que se añade,
- c) se puede preparar poniendo el sólido en el mismo matraz erlenmeyer, y añadiendo cierta cantidad de agua que no es necesario conocer exactamente,
- d) ninguna de las respuestas anteriores es correcta: hay que partir de una disolución de  $\text{NaHCO}_3$  de concentración conocida y tomar una muestra con una pipeta,
- e) otra respuesta.

Justifique la respuesta.

**11.** Diga si la siguiente reacción corresponde a un proceso ácido-base, y por qué. En caso afirmativo, indique si el ácido

corresponde al reactivo M o al N.



M      N

**12.** En una valoración de un ácido, mediante una base que se añade desde la bureta, se emplea un indicador que en su forma ácida tiene un color y en forma básica tiene un color diferente. Durante la valoración el pH va aumentando y sucede lo siguiente:

- a) en todo el proceso existen las dos formas del indicador; pero dentro de un intervalo de pH, con la vista, apreciamos un color que es mezcla de los dos,
- b) al principio, todo el indicador se encuentra en su forma ácida y al llegar a un valor del pH cambia totalmente a la forma básica y vira,
- c) existe un intervalo de pH en el que están presentes las formas ácida y básica del indicador; fuera de este intervalo, sólo existe una de las dos formas,
- d) en todo el proceso existen las dos formas del indicador, y para un determinado valor del pH se produce un cambio total del color,
- e) otra respuesta.

Justifique la respuesta.

**13.** Para determinar el contenido de una base soluble en agua, en una muestra, conociendo la reacción que tendrá lugar con un ácido:

- a) basta saber el número de moles de  $\text{H}_3\text{O}^+$  que reaccionan con la muestra,
- b) hay que conocer, además del número de moles de  $\text{H}_3\text{O}^+$ , el volumen del ácido,
- c) hay que conocer el volumen de la base disuelta,
- d) hay que conocer el volumen y la concentración del ácido y el volumen de la base,
- e) otra respuesta.

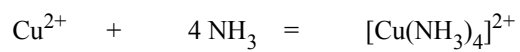
Justifique la respuesta.

**14.** Cuando se añade, gota a gota, una disolución en agua de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a una disolución acuosa de  $\text{NH}_3$ , en el punto de equivalencia:

- a) el equilibrio entre las especies químicas, que se da desde el principio, origina un pH final menor que 7,
- b) el pH será menor que 7 porque el viraje del indicador se produce por un exceso de ácido,
- c) el pH será igual a 7, si bien, posteriormente la hidrólisis del  $\text{NH}_4^+$  hará descender el pH,
- d) el pH será igual a 7 porque se ha añadido un número de equivalentes de ácido igual al de los que se pusieron de la base,
- e) otra respuesta.

Justifique la respuesta.

**15.** Diga si la siguiente reacción corresponde a un proceso ácido-base, y por qué. En caso afirmativo, indique si el ácido corresponde al reactivo M o al N.



M                      N

**16.** Ponga verdadero o falso:

- a) Para saber si una sustancia sólida es ácida o básica, primero habría que disolverla.
- b) Todos los ácidos tiñen de rojo el papel indicador.
- c) Como el agua es neutra no reacciona ni con los ácidos ni con las bases.
- d) No es posible clasificar cualquier sustancia, por sí misma, como ácido o como base.

Justifique las respuestas.