

00523
43



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

**ESTUDIO SOBRE LA ENSEÑANZA Y EL
APRENDIZAJE DE LOS CONCEPTOS
ACIDO - BASE**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
Q U I M I C A
P R E S E N T A

AURA PEÑA GUTIERREZ



MEXICO. D. F.



2003

**EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA**

A



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Jurado asignado:

Presidente Profa. REBECA MARIANA SANDOVAL MÁRQUEZ
Vocal Profa. GISELA HERNÁNDEZ MILLÁN
Secretario Prof. AURELI CAAMAÑO ROS
1er Suplente Profa. PILAR MONTAGUT BOSQUE
2do Suplente Prof. ANDONI GARRITZ RUÍZ

Instituto de Ciencias de la Educación
Universidad de Barcelona
Barcelona, España

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.
NOMBRE: AURA PEÑA
GUTIÉRREZ
FECHA: 19 FEBRERO/2003
FIRMA: Aura

Asesor del tema A. Caamaño
AURELI CAAMAÑO ROS

A. G. Ruiz
Supervisor técnico ANDONI GARRITZ RUÍZ

Aura
Sustentante AURA PEÑA GUTIÉRREZ

"All living nature is regulated by the hydrogen ion concentration. Health and sickness, life and death, are ruled by it "

Svante Arrhenius

Arrhenius, S. Die Chemie und das moderne Leben, p.
280 (Leipzig, 1922)

[*"Toda la naturaleza viviente está regulada por la concentración del ión hidrógeno. La salud y la enfermedad, la vida y la muerte, están reguladas por ella"*]

"...dicen que uno conoce a las personas la primera vez y luego uno sólo sigue tomando impresiones para ajustarlas al momento y a nuestro historial de conductas..."

Fernando Delgadillo

Fernando Delgadillo. Febrero 13. Volumen 2.

Dedicatorias.

A Marul y el doctor Peña, por la paciencia que han tenido ante mis evidentes retrasos. Por su amor y apoyo constantes, porque son mis padres y quiero que estén tan orgullosos de mí como yo lo estoy de ellos.

A Capella, al que hay tanto que decirle, pero sobre todo, gracias por su amor, su compañía, su paciencia, su vida a mi lado. Y porque sin su apoyo y seguramente sin el de Barcelona (que también en parte es culpa suya) esto nunca lo hubiera logrado.

A mis hermanos, cuñados y sobrinas, que no han hecho más que dar amor y apoyo ante mis indecisiones y decisiones.

Al Dr. Andrés Guevara Briz, porque aunque "el Bosco" no tenía razón del todo (ojalá todo fuera tan sencillo como extraer una simple piedra), me ha enseñado el camino para encontrar mi camino y la cordura.

A mi padre académico, Santiago Capella Vizcaino, porque no objetó mis decisiones, por su cariño constante que va más allá de las alianzas familiares y porque ésta es una deuda contraída con él hace algunos años.

A Andoni Garritz, porque ha sido el responsable de mi decisión vocacional y también el responsable de que yo logre concluir esto.

A Aureli Caamaño Ros, porque supo dar cobijo a una extraña, ayudarme a cerrar un ciclo con un trabajo como este, que era suyo y que se sale de mis expectativas, pero que me deja muy satisfecha. ¡Gracias por guiarme para aprender muchas cosas nuevas!

A Adela Castillejos, por el entusiasmo que ha demostrado en mi trabajo y su apoyo constante para resolver cualquier problema causado por la lejanía geográfica.

A Martha y Enrique Piña, por hacerme ver que una tesis no tiene que ser un sufrimiento.

A Guillermo y Pepa, porque con su cariño me ayudaron a decidir dar fin a esta etapa.

A Jimena, porque me ha enseñado lo maravilloso de tener una gran amiga con quien contar siempre.

A Llinitas, porque ha sido una compañera de batalla (aunque ¡no la entienda!) durante el martirio de esta carrera. Y por supuesto a Jordi, sin el cual no hubiéramos formado una triada casi perfecta.

A Rodrigo, por todo lo que nos hemos reído juntos.

A Doris, Marina, Ángel, Galo, Carlos, Julie, Melba, José Vicente, Rodolfo, Martha ... en fin, a los amigos que son y han dejado de ser, porque todos y cada uno de ellos han representado un papel importante en mi vida, un apoyo y además siempre me han dado una opinión favorable sobre lo que representaba terminar esto. Y sobre todo por su cariño.

Agradecimientos

Primero quiero agradecer a mis dos tutores, Aureli Caamaño Ros y Andoni Garritz Ruiz, ya que gracias a ellos he realizado este trabajo.

También quiero agradecer a los profesores y alumnos de 2º de bachillerato de los "Instituts d'Ensenyament Secundari" que han participado en este estudio: Barcelona Congrés, Apel·les Mestres, Guindavols, Jaume Callis, Menéndez Pelayo, Lluís de Peguera y Sant Josep de Calassanç.

Y a los profesores y alumnos mexicanos que también ayudaron poniendo y respondiendo cuestionarios, del Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Vallejo, de la Escuela Nacional Preparatoria No. 4, de la Escuela Nacional Preparatoria No. 8 y del Colegio Madrid; pero especialmente a los profesores José Alberto Martínez Alcaraz, Rafael Ruiz Mendoza y Alejandra García Franco por haber puesto tanto empeño en conseguir los cuestionarios respondidos. Deseo pedirles disculpas, ya que sigo teniendo una deuda con ellos para el análisis posterior de estos cuestionarios que por la extensión del trabajo, ya no pudieron ser parte de él.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN A LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	1
2. LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS EN CIENCIAS Y SU ESTUDIO	3
Teorías del aprendizaje	3
Concepciones Previas	6
Cambio conceptual	11
Dificultades en el aprendizaje de las ciencias	13
Técnicas de Investigación Educativa	15
3. EVOLUCIÓN DE LAS TEORÍAS ÁCIDO-BASE Y SU PRESENCIA EN LOS LIBROS DE TEXTO ANTIGUOS	18
Evolución en las teorías ácido-base	18
Análisis de los Libros Antiguos	22
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS TRABAJOS REALIZADOS ANTERIORMENTE SOBRE CONCEPCIONES ALTERNATIVAS EN ÁCIDO-BASE	26
5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	30
6. ANÁLISIS DE LOS LIBROS DE TEXTO ESPAÑOLES ACTUALES EMPLEADOS EN EL BACHILLERATO	31
Análisis del contenido de algunos libros de texto de bachillerato	32
7. PRESENTACIÓN DEL CUESTIONARIO	38
Elaboración del cuestionario	38
Objetivos de las preguntas del cuestionario	39
8. ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS	51
Tratamiento general de las respuestas	52
Construcción de las redes sistémicas	53
Análisis de las respuestas	55

Pregunta 1 ¿Por qué son ácidos o básicos los siguientes productos domésticos? _____	57
Pregunta 2 ¿Por qué son ácidos o bases estos productos de laboratorio? _____	71
Pregunta 3 ¿Qué es un ácido o una base de acuerdo con la teoría de Arrhenius? _____	77
Pregunta 4 ¿Qué es un ácido o una base de acuerdo con la teoría de Brønsted-Lowry? _____	90
Pregunta 5 ¿Por qué los ácidos y las bases son fuertes o débiles? _____	107
Pregunta 6 Ácidos y bases conjugados _____	115
Pregunta 7 ¿Por qué son ácidas, básicas o neutras las disoluciones acuosas de estas sales? _	120
Pregunta 8 ¿Cómo identificar una reacción ácido-base? _____	126
Pregunta 9. Relación entre los procesos cotidianos y los conceptos ácido-base _____	131
9. CONCLUSIONES _____	137
Conclusiones del análisis de las respuestas _____	137
Conclusiones generales _____	141
Propuestas _____	146
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	147

1. INTRODUCCIÓN A LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este estudio hemos pretendido indagar acerca de las concepciones alternativas de los estudiantes de 2° de bachillerato (17-18 años) respecto a los ácidos y las bases; así una vez que podamos identificarlas, la idea es poder encontrar algunas de sus causas. Decidimos centrar esta investigación en ciertos aspectos que consideramos más importantes:

- ❖ Carácter ácido-base de productos cotidianos
- ❖ Teorías ácido-base (Arrhenius y Brønsted-Lowry) y las limitaciones de cada una
- ❖ Ácidos y bases fuertes y débiles
- ❖ Especies conjugadas
- ❖ Carácter ácido, básico o neutro de disoluciones de sales
- ❖ Reacciones ácido-base
- ❖ Fenómenos químicos en la vida cotidiana

El trabajo quedó estructurado de la siguiente manera:

- ❖ *Las concepciones alternativas en ciencia y las técnicas de investigación utilizadas para determinarlas.* Aquí hacemos un pequeño resumen de las teorías del aprendizaje, describimos brevemente qué son las concepciones alternativas y el cambio conceptual. Después hacemos un análisis sobre las dificultades que están involucradas en el aprendizaje de las ciencias, y en particular en el de la química. Para terminar esta sección, hacemos un pequeño esbozo de las técnicas utilizadas para la investigación de las concepciones alternativas en los alumnos.
- ❖ *Evolución de las teorías ácido-base y su presencia en los libros de texto antiguos.* Realizamos una revisión sobre la evolución de las teorías ácido-base a través de los años y cómo aparecen las dos teorías ácido-base centrales de nuestro estudio – la de Arrhenius y la de Brønsted-Lowry – en libros antiguos de Química General (de 1887 a 1987).
- ❖ *Revisión bibliográfica de los trabajos realizados anteriormente.* Hicimos una investigación en la literatura didáctica para identificar las concepciones alternativas que ya han sido detectadas sobre el tema ácido-base y seleccionamos las que son más importantes para este estudio.
- ❖ *Objetivos de la investigación.* Presentamos cuáles son los objetivos de esta investigación.

PAGINACIÓN DISCONTINUA

- ❖ *Análisis de los libros de texto actuales de bachillerato en Cataluña.* Ya que sabemos que los libros de texto que han sido empleados por alumnos y profesores es una de las fuentes de las concepciones alternativas desarrolladas en los estudiantes. En esta parte del trabajo, hacemos un análisis de ellos para saber de qué manera se tratan los aspectos en los que centramos la investigación en los distintos libros que se utilizan actualmente en Cataluña.
- ❖ *Presentación del cuestionario.* Antes de entrar en los hallazgos de este estudio, hacemos un bosquejo sobre las preguntas que conformaban el cuestionario con el que se realizó la investigación y qué es lo que pretendíamos descubrir en cada una de las preguntas.
- ❖ *Análisis de las respuestas.* La penúltima sección de este trabajo, incluye una descripción de cómo realizamos el análisis de los cuestionarios mediante la elaboración de redes sistémicas (cómo construimos las redes sistémicas para cada pregunta y por qué fue que lo hicimos así). Además realizamos el análisis propiamente dicho de cada red y mencionamos los hallazgos obtenidos gracias a esta investigación.
- ❖ *Conclusiones.* Ofrecemos un resumen sobre las concepciones alternativas detectadas con este estudio y proponemos cuáles pueden ser las posibles causas de dichas concepciones.

2. LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS EN CIENCIAS Y SU ESTUDIO

En esta parte del trabajo hacemos una introducción sobre: las teorías del aprendizaje, qué son las concepciones alternativas, qué es el cambio conceptual, cuáles son las dificultades en el aprendizaje de las ciencias y qué técnicas de investigación educativa existen.

Teorías del aprendizaje

A pesar de que la Psicología no fue creada para dedicarse a cuestiones educativas, algunos de sus grandes personajes terminaron por enfocarse también en cuestiones relacionadas con la educación de los individuos.

El conductismo que nació como una corriente psicológica, buscaba hacer una relación entre estímulo y respuesta desde un punto de vista observable, es decir, que no tenían el mínimo interés por aquello que podía suceder entre el estímulo y la respuesta. El conductismo después fue desarrollando también un cierto interés por el aprendizaje, y siguiendo la misma corriente en la que no se preocupaban por la estructura cognitiva.

Más tarde aparece un interés por los procesos mentales del individuo durante el aprendizaje, es decir, el constructivismo; ésta es una de las corrientes actuales más arraigadas en el mundo del aprendizaje y la enseñanza de las ciencias [Gómez Crespo *et al.*, 1992].

Constructivismo

Como ya lo hemos mencionado, el constructivismo empezó a poner más énfasis en los procesos de aprendizaje del individuo, así que podría decirse que se preocupa más de cómo se aprende, que de cómo se enseña [Pomés Ruiz y González Guerrero, 1990]. En el constructivismo el educando es visto como un constructor de su propio conocimiento y considera que lo hace en relación con el medio que lo rodea.

De acuerdo con Glatthorn (1997), el constructivismo señala nueve principios básicos:

1. El aprendizaje no es un proceso pasivo y receptivo sino un proceso activo de elaboración de significados.
2. El aprendizaje es mejor cuando implica cambios conceptuales, modificando nuestra previa concepción de conceptos, haciéndolos más complicados y válidos.

3. El aprendizaje es siempre subjetivo y personal. El estudiante aprende mejor cuando puede internalizar lo que está aprendiendo.
4. Al aprendizaje también se le sitúa o contextualiza. Los estudiantes llevan a cabo tareas y resuelven problemas cuya naturaleza se parece más a las del mundo real.
5. El aprendizaje es social. El mejor aprendizaje es el que se desarrolla en la interacción con otras personas.
6. El aprendizaje es afectivo. El conocimiento y el afecto están estrechamente relacionados.
7. La naturaleza del trabajo en el aprendizaje es crucial.
8. El desarrollo del alumno influye en el aprendizaje.
9. El mejor aprendizaje comprende conocimientos transformados que se reflejan durante todo el proceso de aprendizaje de un alumno.

De acuerdo con esto, el ser humano no interactúa directamente con la realidad, sino que lo hace a través de esquemas que influyen en su representación del mundo [Carretero, 1997]. Estos esquemas a su vez se modifican, diversifican y coordinan construyendo así poco a poco el conocimiento [Pomés y González, 1990].

En relación con la perspectiva constructivista del aprendizaje, el proceso de construcción del conocimiento no se limita a que el alumno reciba lo que le transmiten y lo integre, sino que él posee unas concepciones previas que tienen una influencia patente sobre los conceptos nuevos [Treagust *et al.*, 2000].

Hay gente que puede pensar que existen varios tipos de constructivismo, pero en realidad es la unificación de una serie de puntos de vista que han ayudado a construirlo, y en todo esto han influido los trabajos de Piaget, Vygotsky y Ausubel, entre otros [Carretero, 1997].

Piaget

Piaget fue uno de los pioneros en esta forma de corriente educativa; su concepción del desarrollo cognitivo era que el conocimiento no se adquiere interiorizando el entorno, sino que el que aprende interactúa con su entorno y va construyendo el conocimiento mediante un proceso de adaptación biológica [Lloréns, 1991]. Este proceso puede ser visto como un intercambio entre el ambiente y el individuo, y se lleva a cabo por medio de dos mecanismos: asimilación (es un proceso que realiza el sujeto para interpretar la información de acuerdo con sus esquemas de conocimiento) y

acomodación (es la modificación de un esquema por aquellos elementos que no se asimilan) [Caamaño, 1993].

Otra parte central de la teoría de Piaget es que el desarrollo cognitivo del individuo está conformado por varias etapas o estadios, entre las que no sólo existen diferencias cuantitativas (la cantidad acumulada de requisitos) sino incluso cualitativas (el individuo posee estructuras diferentes que le permiten ordenar la realidad de formas diversas) [Carretero, 1997]; así que pasando de un estadio a otro, el individuo adquiere esquemas y estructuras nuevas, y para pasar de uno a otro es necesario realizar una serie de tareas. Además, según Piaget, el individuo irá aprendiendo de acuerdo con lo que su desarrollo cognitivo le permita [Carretero, 1997]. Así que de acuerdo con esto, uno de los aspectos a desarrollar en el aprendizaje científico está en pasar del pensamiento concreto al pensamiento formal, que permite la comprensión de fenómenos más abstractos [Lloréns, 1991].

Las ideas de Piaget han tenido gran impacto en la Didáctica de la Química, como se puede ver en una recopilación de artículos realizada por Good, R. (1979) [Lloréns, 1991].

Vygotsky

En contraposición con algunas de las ideas de Piaget, está Vygotsky que no cree que lo que un niño puede aprender depende de su desarrollo cognitivo, sino del aprendizaje mismo [Carretero, 1997]. Para él, el desarrollo mental y la instrucción son dos procesos relacionados, y no independientes como lo consideraba Piaget [Lloréns, 1991].

Otra aportación importante de Vygotsky es la influencia social en el aprendizaje. A pesar que Piaget también lo llegó a tomar en cuenta, diciendo que el individuo desarrolla su conocimiento en un contexto social, no alcanzó a ver al ser humano como eminentemente social, con lo cual, de acuerdo con Vygotsky, su conocimiento lo es [Carretero, 1997].

Considerando la influencia del medio social del individuo, Vygotsky considera que el ambiente también puede proporcionar ayudas para que el individuo aprenda; así que, incluso lo que éste pueda aprender, de acuerdo a su nivel real de desarrollo, puede variar si recibe la guía de un adulto o trabaja junto con sus compañeros.

Vygotsky cree que los conceptos espontáneos, que son aquellos que el individuo desarrolló por sí solo, están relacionados con los conceptos científicos; de esta forma los conceptos científicos entran en contacto con los espontáneos y es gracias a la evolución de estos últimos que los conceptos científicos pueden encontrar su lugar [Caamaño, 1993].

Dentro de su teoría, Vygotsky también enmarca una clara relación entre el aprendizaje y el lenguaje, manifestándolo de la siguiente forma: “el pensamiento no se expresa simplemente en palabras sino que existe a través de ellas (Vygotsky, 1963)” [Lloréns, 1991].

Así que el lenguaje será un reflejo del mundo cultural del alumno, y un mejor desarrollo del lenguaje propicia el desarrollo de conceptos [Lloréns, 1991].

Ausubel

Ausubel fundamentalmente considera que el aprendizaje debe ser una actividad significativa para el que aprende; el hecho de que lo sea o no está relacionado con que haya “relaciones” entre el conocimiento nuevo y el que el alumno ya posee [Carretero, 1997]. Centrando su teoría en la importancia del aprendizaje significativo, Ausubel hace una crítica importante contra el aprendizaje memorístico, diferenciándolo del significativo que hace que los conceptos sí puedan unirse para la construcción del conocimiento y creyendo que el aprendizaje memorístico es poco eficiente, ya que para Ausubel “aprender es sinonimo de comprender” [Carretero, 1997].

Aquí el papel de los conocimientos previos es determinante, porque puede ser que gracias a estos sea más fácil integrar conceptos nuevos. En el aprendizaje científico, hay conceptos que difícilmente pueden establecer vínculos con el conocimiento previo, por lo que Ausubel hace énfasis en la importancia de conocer los conocimientos previos de los alumnos para hacer uso de los organizadores, que son conceptos introductorios que facilitan la creación de vínculos.

A diferencia de Piaget, Ausubel no cree en las estructuras de pensamiento de acuerdo con las edades de los alumnos, sino que los estudiantes poseen una diferenciación cognitiva específica; gracias a ésta pueden tener un pensamiento abstracto para unas cosas y para otras no, a pesar que el pensamiento abstracto sí tiene relación con la edad.

Concepciones Previas

Como ya hemos visto, el constructivismo marca un interés especial en las concepciones previas de los alumnos, quedando patente su importancia ante la adquisición de un concepto nuevo; por esta relevancia, cada vez son más las investigaciones realizadas respecto a las concepciones previas de los alumnos en diferentes áreas de la ciencia, lo que nos proporciona algunas visiones del proceso de aprendizaje [Fisher y Lipson, 1986].

Las concepciones previas han recibido diferentes nombres: "ideas previas", "esquemas alternativos", "esquemas de representación", "preconceptos", "errores conceptuales" o "teorías de niños"; y cada uno de estos nombres se refieren a los fundamentos teóricos utilizados en los programas de investigación [Caamaño, 1993].

¿Que son las concepciones previas o alternativas?

Existen varias maneras de definir las concepciones alternativas, se puede decir "... las concepciones alternativas se refieren a las concepciones que difieren significativamente de aquellas que son socialmente aceptadas por la comunidad científica (Gilbert, 1983)" [Garnett *et al.*, 1995].

Desde el punto de vista del constructivismo, los estudiantes construyen su propio significado partiendo de: las observaciones que hacen al realizar un experimento, al presentárseles un figura o dárseles una explicación por parte del profesor o del libro de texto; para tal fin, hacen uso de los marcos interpretativos que poseen y que han ido construyendo en la vida cotidiana o en el aula. Es posible que esos significados contruidos contrasten con aquello que originalmente se pretendía transmitirles, y esto son las concepciones previas [Garriz, 2000a].

Características

Las concepciones previas poseen características que se han logrado identificar gracias a los estudios que se realizan desde los años setenta, entre ellas están:

- El alumno las elabora a partir de su interacción con el mundo. Las concepciones alternativas tienen sus orígenes en un conjunto de experiencias personales diversas que incluyen la observación y la percepción directas, la cultura cotidiana y el lenguaje; así como las explicaciones de los profesores y los materiales que utilizan estos últimos para la instrucción.
- Son resistentes a extinguirse mediante estrategias de enseñanza convencionales. Aunque se cree que esta persistencia depende de cómo han sido construidas, hay algunas que perduran años.
- Poseen un lenguaje impreciso, es decir, que es difícil expresarlas.
- Dan explicaciones de los fenómenos naturales paralelamente a las ofrecidas por generaciones previas de científicos y filósofos.
- Son incoherentes, aunque para el alumno sean totalmente coherentes.

- Tienen un carácter implícito, es decir, que no *saltan a la luz* fácilmente, sino que se encuentran detrás de las actividades y predicciones de los alumnos.
- Su uso no es consistente, variará de acuerdo al contexto.
- El alumno llega a la instrucción formal científica con un conjunto de concepciones alternativas respecto a los objetos y eventos naturales.
- Atravesan las fronteras de la edad, las habilidades, el género y la cultura de los alumnos.
- Comúnmente los profesores comparten las mismas concepciones alternativas de sus estudiantes.
- Los conocimientos previos de los alumnos interactúan con los presentados en la instrucción formal, resultando en un conjunto de conocimientos no formales.
- La instrucción que facilita el cambio conceptual puede ser una herramienta eficiente para extinguir las concepciones alternativas [Caamaño, 1993; Wandersee *et al*, 1994].

Orígenes

Existen diferentes posibles orígenes para las concepciones previas, aquí intentamos hacer una representación:

- *Perceptivo*. Los alumnos se preocupan más por aquello que detectan sus sentidos, y la ciencia posee muchos conceptos abstractos [Furió y Furió, 2000].
- *Influencia del contexto*. El razonamiento de los individuos está dominado por el uso del sentido común y las experiencias vividas en su entorno, dejando patente el poco acercamiento de la Ciencia con la sociedad. Además los medios de comunicación pueden contribuir a la generación de estas concepciones [Lloréns, 1991].
- *El uso constante del aprendizaje memorístico*. El aprendizaje memorístico puede resultar un obstáculo para el aprendizaje científico, ya que este último demanda un pensamiento reflexivo y creativo por parte del alumno [Furió y Furió, 2000].
- *El ambiente escolar*. Su influencia puede radicar en los fallos del currículo, con lo que se esperaría que hubiera un trabajo conjunto entre los profesores y aquellas personas encargadas de la elaboración de este. Pero dentro del ámbito escolar puede: haber errores o imprecisiones en los libros de texto, o que el profesor no preste atención a los conceptos transmitidos y la forma en que lo hace. Hay veces en que los profesores intentan simplificar o generalizar conceptos, creando confusión en los alumnos [Garritz, 2000b]. Otro aspecto

importante, que deben tomar en cuenta los profesores para no dar pie a falsas concepciones, es el uso de un lenguaje adecuado [Garnett *et al.*, 1995].

Cada autor puede hacer una aportación nueva a los posibles orígenes de las concepciones alternativas, por ejemplo, Driver, Guesne y Tiberghien (1985) proponen características, coincidentes algunas con lo anterior, que pueden verse como sus posibles causas:

- El pensamiento de los alumnos está dominado por la percepción. Únicamente confían en aquello que pueden ver, oler, sentir.
- El pensamiento de los alumnos se limita a prestar atención a determinados hechos de algún fenómeno, que por lo general son los más relevantes. Los alumnos sólo se fijan en los cambios de una reacción y no en aquello que permanece.
- Los alumnos utilizan un pensamiento causal lineal, no son capaces de analizar fenómenos abstractos que ocurran simultáneamente. De acuerdo con Jiménez (2002), incluso los estudiantes universitarios tienen problemas para considerar los equilibrios simultáneos durante una valoración ácido-base, teniendo problemas con el equilibrio de viraje del indicador.
- Los alumnos poseen conceptos indiferenciados.
- El pensamiento de los alumnos depende del concepto en el que se activa.

También encontramos trabajos como el de Pozo (1991) que engloba y clasifica las causas en tres grupos de acuerdo con su origen: concepciones espontáneas (cuyo origen está en la búsqueda por dar un significado a las actividades o sucesos cotidianos), concepciones inducidas (que se generan en el entorno social del alumno) y las concepciones analógicas (que no tienen ninguno de los otros dos orígenes, así que el alumno utiliza analogías propias o de la enseñanza).

Hay autores que consideran que las concepciones alternativas no sólo influyen individualmente en cómo se adquiere un conocimiento nuevo, sino que se crean cúmulos entre estas concepciones y otros conocimientos, formándose así estos conjuntos de ideas que son llamados "esquemas alternativos" o "esquemas conceptuales alternativos" [Garritz, 2000b; Taber, 1999].

El estudio de las concepciones alternativas

De acuerdo con Pozo, *et al* (1991) "hay tres preguntas que subyacen a la mayor parte de los trabajos sobre comprensión de la ciencia:

- ¿Qué tipos de ideas tienen los alumnos y de dónde proceden?
- ¿Cómo se organizan estas ideas en la mente de los alumnos?
- ¿Cuáles son los mecanismos de cambio de estas preguntas?"

Pozo (1991) considera que es muy difícil el estudio de las concepciones alternativas que poseen los alumnos internamente, ya que hay una influencia del contexto en que estas concepciones se exteriorizan, creándose una especie de filtro que puede provocar una representación distinta de esa concepción estudiada. Sin embargo, es un riesgo que se corre en cualquier investigación social, como afirma Caamaño (1993). Para intentar realizar una investigación con resultados representativos de las ideas de los alumnos, es necesario controlar por lo menos dos factores: las edades de los estudiantes y su nivel de conocimientos. Al mencionar el nivel de conocimientos del alumno, nos referimos a los temas en los que ha sido instruido o incluso la forma en que cada profesor puede impartirlos.

En el área específica de la química se han realizado estudios de concepciones alternativas en temas tan diversos como:

- a) visiones del cambio química y reacciones
- b) la visión de las partículas como átomos o moléculas
- c) equilibrio químico
- d) modelos y representaciones de reacciones químicas
- e) ácidos y bases
- f) combustión
- g) electroquímica
- h) el concepto de mol

Cambio conceptual

Como ya hemos visto, las concepciones alternativas van sufriendo modificaciones al integrar conceptos nuevos, este proceso es también llamado cambio conceptual.

En relación con el cambio conceptual en la ciencia, Garritz, (2000a) dice lo siguiente:

"Aprender se concibe como un proceso constructivo activo del que aprende y el enseñar es diseñado para apoyar y nutrir este proceso de construcción. De acuerdo con esto, aprender ciencia puede ser un proceso doloroso en el que una secuencia de cambios graduales de concepciones preinstruccionales desemboca hacia concepciones científicas. El término "cambio conceptual" es usualmente empleado para apuntar a este proceso porque denota que cambios mayores de los marcos conceptuales iniciales son necesarios cuando son aprendidos principios y conceptos científicos."

Respecto al cambio conceptual podemos decir que hay varias opiniones en torno a la manera en que puede generarse, Driver (1989) y Giordan y Vecchi (1988) coinciden en que las situaciones de conflicto en que se sitúa al alumno son determinantes, ya que éste al no poder explicar el fenómeno ante el que se encuentra, opta por hacer algunas modificaciones a sus concepciones para crear una explicación satisfactoria nueva.

El cambio conceptual, por el proceso que implica, no puede considerarse como algo que ocurre de forma súbita y radical, sino que puede verse como un debilitamiento del estatus de las concepciones previas y al mismo tiempo un fortalecimiento en el estatus de las nuevas, según afirma Oliva (1999).

Driver (1989) propone como mecanismo para crear nuevas teorías el siguiente:

- Que los alumnos las construyan con los elementos que tienen.
- O que no sólo la construyan, sino que además la prueben para que la teoría nueva se ajuste mejor para explicar otros fenómenos.

además sugiere que son más sencillos los procesos de cambio en que el trabajo se hace en equipo y pueden hacerse modificaciones desde distintos puntos de vista y entre todos.

En Garritz (2001) aparece una revisión del trabajo original de Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982) a veinte años de haber aparecido por primera vez. Garritz recuerda cómo Posner *et al* "proponen pautas análogas entre el cambio de los conceptos durante el desarrollo de la ciencia y el aprendizaje de forma personal." Los autores del artículo de 1982 "proponen que el aprendizaje debe comportarse de una manera similar a la filosofía contemporánea de las ciencias, dado que la

cuestión central de esta filosofía es cómo cambian los conceptos con el impacto de las ideas y la información nuevas.”

Para Posner et al el aprendizaje no es visto únicamente como la adquisición de ideas nuevas sino más como un proceso conceptual. Para estos autores el aprendizaje puede verse de dos formas: como la asimilación (cuando los alumnos emplean sus conceptos ya existentes para trabajar con fenómenos nuevos) o como la acomodación (cuando los estudiantes tienen que modificar o reemplazar sus conceptos centrales que estaban afectando la adquisición de conceptos nuevos).

Posner y sus colaboradores basan la teoría del aprendizaje en la filosofía contemporánea de las ciencias tomando las obras de Kuhn (1970) y Lakatos (1970). De esta forma podemos ver, que de acuerdo con Kuhn, el proceso de acomodación puede verse como un cambio de paradigma.

En el trabajo de Posner et al se reconocen cuatro condiciones comunes en los casos de acomodación:

1. Los estudiantes deben estar insatisfechos con sus concepciones ya existentes. Sólo se presentará una crisis en los alumnos cuando descubran que la concepción que poseen presenta anomalías, que no les sirve para resolver sus problemas.
2. El alumno debe encontrar inteligible la nueva concepción para poder adoptarla. Que el individuo comprenda esa nueva concepción es una condición necesaria, mas no suficiente.
3. Los estudiantes deben entender superficialmente la concepción alternativa, que sea verosímil.
4. Para aceptar una concepción nueva, el alumno debe creer que será un cambio provechoso. El cambio de concepciones debe darle al alumno los incentivos suficientes por el sacrificio requerido.

Estas cuatro condiciones no ocurren linealmente, el alumno podrá acomodar sólo ciertos aspectos de la nueva concepción.

El papel del profesor en el cambio conceptual consiste en considerar el proceso de acomodación de sus alumnos. El profesor deberá encontrar la manera de generar la insatisfacción en sus alumnos ante sus concepciones haciéndoles ver las anomalías presentes y presentar los nuevos conceptos de forma verosímil e inteligible para ayudarlos a generar el cambio conceptual.

Dificultades en el aprendizaje de las ciencias

Al ver la cantidad de artículos publicados en torno a las dificultades en el aprendizaje de las ciencias y, en particular, de la química, descubrimos que es evidente la preocupación que existe. Debido a esta inquietud, se intenta buscar las raíces de estas dificultades y crear estrategias para la mejora del aprendizaje.

Si consideramos el aprendizaje desde el punto de vista de las teorías cognitivas, quizá, como dice Herron (1975) para el caso de la química, pero que pudiera generalizarse al aprendizaje de las ciencias, la dificultad "consiste en la imposibilidad funcional, por parte del alumno, de aprender significativamente al carecer de la estructura cognitiva adecuada" [Pomés y González, 1990].

En general, una de las mayores dificultades presentes en el aprendizaje de las ciencias, radica en que los alumnos están acostumbrados a unas formas cotidianas de conocimiento que, hasta que no tienen un primer acercamiento con la ciencia y sus explicaciones, utilizan para explicar los fenómenos naturales a los que se enfrentan.

"El aprendizaje de la ciencia involucra el desarrollo de 'formas nuevas de saber' acerca de fenómenos familiares. Esto involucra interiorizar la perspectiva de una cultura distinta y respecto a esto, puede conceptualizarse como un 'rompimiento con' más que una 'construcción a partir de' las formas de conocimiento cotidiano"[Leach y Scott, 1995].

Puede resultar muy difícil para los alumnos adoptar una nueva forma de pensamiento que les permita comprender los conocimientos científicos y seguir utilizando su forma más cotidiana del conocimiento. Además a los alumnos puede parecerles mucho más sencillo el uso de sus formas cotidianas, que son mucho más simples y cercanas que las del conocimiento científico.

Aparte de todo lo anterior, otra dificultad radica en que la ciencia no solamente trata de estudiar los fenómenos naturales, sino que ha construido formas más evolucionadas y complejas de conocimiento que ayudan a comprender e interpretar la naturaleza. Así que para acercarse al saber científico hay que adquirir ciertas ideas y prácticas, que logren tener sentido a escala individual; esto sólo se logra introduciendo al alumno en el mundo de la ciencia [De Jong, 1996].

Si el papel del profesor es introducir al alumno en las formas del saber científico y ayudarlo a diferenciar éste del saber cotidiano, el alumno a su vez tendrá que encontrarle algún sentido de acuerdo a sus formas propias de conocimiento.

Otro de los grandes problemas encontrados en torno al aprendizaje, tiene que ver con el lenguaje. Aun cuando la ciencia posee su propia forma de transmitir sus ideas de manera muy precisa, utilizando el lenguaje científico, los alumnos tienen dificultades al aprender ciencias porque algunos de los términos empleados pueden ser iguales a los que utilizan en su vida cotidiana, pero sin compartir el mismo significado. Hay otros casos en que incluso el lenguaje científico no tiene ningún sentido para los alumnos y puede ser peor cuando los profesores no crean conciencia de estos problemas y usan formas abreviadas para transmitir los conocimientos, dando lugar esto a graves malentendidos.

Dice Caamaño (2001) que "aprender ciencia requiere irse apropiando de las formas lingüísticas construidas a lo largo del tiempo y transmitidas fundamentalmente a través de textos escritos." Para lograr que los alumnos se apropien de estas formas lingüísticas, puede ser fundamental el rol del profesor, que deberá prestar atención a los términos empleados para transmitir los conocimientos científicos a sus alumnos y hacerles aclaraciones sobre el significado que tienen, para la ciencia, aquellos términos que posean su igual en el lenguaje cotidiano.

Dificultades en el aprendizaje de la Química

Centrándonos un poco más en los problemas que pueden surgir en el aprendizaje de la química, podemos ver que existen un sinnúmero de factores nuevos que incluso pueden ser exclusivos de esta rama de la ciencia.

- De acuerdo con De Jong (1996), los problemas educativos se pueden englobar en tres grupos:
- ¿Cómo se enseña la química a los alumnos? Estos se quejan de explicaciones repetidas y monotonía, en cuanto los profesores de que los alumnos ni siquiera han captado los conceptos básicos; además la enseñanza está basada en la exclusiva resolución de problemas y no en enseñar la naturaleza de la materia.
 - Diseño de planes de estudio. Los cuales tienen las siguientes características en muchos de los casos: sobrecarga, temas antiguos, falta de evolución a través de los grados de enseñanza.
 - Formación inicial y reciclaje de los profesores. Hay falta de candidatos a profesor, falta de vinculación de los profesores entre la teoría y la práctica, y no hay modernización en la didáctica de los profesores.

Pero como dice Caamaño (2001), "mas allá de los condicionantes curriculares y normativos destacados, muchos de los problemas planteados sobre el aprendizaje y la enseñanza de la química se sitúan en el campo propio de la educación química." Así que, considerando lo dicho por este autor sobre las dificultades en el aprendizaje de la química, señaladas en la literatura didáctica, tenemos:

- La existencia de diferentes niveles de descripción de la materia: macroscópico y microscópico, con diferentes entidades y conceptos asociados a cada uno de ellos.
- La complejidad del nivel representacional simbólico y gráfico utilizado para describir e interpretar la composición y estructura de la materia mediante símbolos, fórmulas, fórmulas estructurales, diagramas atómicos, diagramas multiatómicos, modelos de bolas, etc.
- El uso de diferentes modelos y teorías (la teoría corpuscular, la teoría cinético-corpuscular, la teoría atómico-molecular, los diferentes modelos de la estructura interna del átomo y del enlace químico, etc.) en sucesivas versiones a lo largo de la enseñanza secundaria.
- La necesidad ineludible de comprender la naturaleza de los modelos para poder implicarse en su elaboración, utilizarlos apropiadamente y ser consciente de su carácter instrumental y evolutivo.

Y si pensamos en el tema central de este trabajo, otra dificultad surge de las concepciones alternativas de los alumnos. Es posible que el profesor no se preocupe por conocerlas y que el contenido de los temas no concuerde con ellas.

Tomando en cuenta un estudio realizado por Ratcliffe (2002) sobre los temas del currículo de Química que los alumnos, los profesores y los evaluadores consideraban que eran difíciles o muy difíciles, obtuvo los siguientes resultados respecto al tema ácido-base: sólo por el 10% de los estudiantes, el 6% de los profesores y el 6% de los evaluadores los consideran como un tema difícil de comprender, de enseñar o de evaluar, respectivamente.

Técnicas de Investigación Educativa

Basándose en el hecho claro de las teorías constructivistas, respecto a que los alumnos no llegan a clase totalmente en blanco, sino que poseen concepciones previas a la instrucción que influyen sobre el nuevo conocimiento adquirido, en los últimos años, el estudio de las ideas previas de los alumnos sobre los diferentes conceptos científicos ha ido cobrando cada vez más importancia.

Las técnicas de investigación más empleadas en estudios como éste son:

- ❖ Cuestionarios
- ❖ Entrevistas
- ❖ Técnicas de asociación de palabras
- ❖ Construcción de mapas conceptuales
- ❖ Técnicas naturalistas

Cuestionarios

Existen dos grandes tipos de cuestionarios, los que tienen preguntas abiertas (que permiten al alumno dar interpretaciones con sus propias palabras) o cerradas (que únicamente permiten hacer una selección entre las posibles respuestas sin ofrecer ninguna justificación); en el caso de estos últimos, la investigación se limita mucho, ya que no se puede llegar a saber las razones por las que se eligió dicha opción, que en muchos casos habla más de los orígenes de dicha concepción alternativa.

Dentro del grupo de los cuestionarios con preguntas abiertas pueden encontrarse los de opción múltiple en que se pide una justificación a la respuesta elegida; aquellos en que se pide la interpretación de un cierto fenómeno, ya sea por medio de dibujos (en el caso de alumnos más pequeños que puedan tener problemas para expresarse o que aquello que se busca en la investigación es conocer la representación gráfica de ciertos fenómenos, como puede ser en el caso de la estructura de la materia), una respuesta escrita o incluso los dos.

Hay otra versión de cuestionarios en la que se investiga la influencia del lenguaje en dos versiones de cuestionarios, una con los enunciados escritos utilizando un lenguaje científico u otro formulado con un lenguaje más cotidiano.

En el grupo de los cuestionarios con preguntas cerradas están los de opción múltiple que no piden una justificación al alumno, pero que pueden hacer uso de distractores entre las posibles respuestas. Generalmente, los distractores empleados en este tipo de cuestionarios son ideas previas detectadas anteriormente, ya sea por otros investigadores o por algún profesor.

Entrevistas

Las entrevistas son otra técnica muy usada que en muchos casos incluso se complementa con la utilización de cuestionarios. Ésta es una técnica que permite obtener respuestas más completas por

parte de los alumnos, ya que el encuestador puede seguir indagando acerca de las ideas que posee el estudiante. La gran desventaja que poseen las entrevistas, es que como la cantidad de información recabada por cada alumno es tan grande, su análisis resulta más complicado y por tanto la muestra de alumnos se reduce considerablemente.

Técnicas de asociación de palabras y construcción de mapas conceptuales

Siguiendo la línea de la enseñanza por transmisión verbal, están las técnicas de asociación de palabras que a su vez pueden hacer uso de la elaboración de mapas proposicionales y la construcción de mapas conceptuales, con la idea de poder hallar un mapa que refleje la estructura cognitiva del alumno.

Técnicas naturalistas

Además están los estudios naturalistas que consisten en situar al alumno en su ambiente, el aula, para influir lo menos posible. Para tal fin, se hace uso de registros directos en el aula, ya sea con una grabadora o una cámara de video.

3. EVOLUCIÓN DE LAS TEORÍAS ÁCIDO-BASE Y SU PRESENCIA EN LOS LIBROS DE TEXTO ANTIGUOS

En este capítulo trataremos brevemente la evolución en las teorías ácido-base y analizaremos algunos libros de texto antiguos. El análisis de los libros lo centraremos específicamente en la aparición de las dos teorías ácido-base consideradas en este estudio, la de Arrhenius y la de Brønsted-Lowry.

Evolución en las teorías ácido-base

Antiguamente se creía que la materia estaba formada de cuatro elementos: fuego, agua, tierra y aire; es de aquí de donde se empezaron a realizar diferentes estudios en las propiedades químicas de los compuestos; del estudio del aire surge la investigación sobre los gases, del agua en los líquidos, del fuego surge la termodinámica y de la tierra el de los sólidos.

Dicho estudio de los sólidos se centraba especialmente en las sales, y partiendo de estas últimas se fue desarrollando un interés hacia los ácidos y las bases, ya que era precisamente de la unión de estos dos tipos de compuestos (ácidos y bases) que se obtenían las sales.

En el camino hacia la obtención de un modelo que permitiera identificar a los ácidos y las bases, se comenzó identificando sus propiedades, así la palabra ácido únicamente se refería a una característica de dichas sustancias. En un principio los ácidos eran identificados por su sabor agrio, por su efervescencia al entrar en contacto con el zinc, al cambiar de color los indicadores ácido-base. Las bases, en cambio, eran identificadas por su sabor amargo, su tacto jabonoso, también por el cambio en el color de los indicadores y porque éstas neutralizaban algunas características de los ácidos.

Intentando explicar las propiedades de estos compuestos, se empieza a investigar a fondo estas características, adquiriéndose así una primera propuesta estructural en la que los ácidos debían tener una forma puntiaguda y las bases redonda.

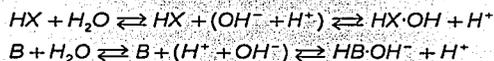
Antoine Lavoisier es el primero en hacer referencia a un elemento que fuera específico de los ácidos, diciendo que todos los ácidos contenían oxígeno. Es precisamente el nombre de este elemento (el oxígeno) el que hace referencia a esta característica, ya que la palabra *oxígeno* quiere decir "portador de las características ácidas".

En 1810 Davy, gracias a sus investigaciones, concluye que hay varios ácidos que no contienen oxígeno, sino hidrógeno, haciendo a este último elemento responsable del carácter ácido de ciertas sustancias. Davy a partir de sus experimentos llega a decir que "el ácido muriático puede ser considerado como que tiene hidrógeno como su base y el ácido oximuriático como su principio acidificante" [Walden, 1929].

Hacia 1838, Liebig da otro paso importante hacia la caracterización de los ácidos, descubriendo que no todos los compuestos que contienen hidrógeno son ácidos; define los ácidos como compuestos que contienen hidrógeno, en los que dicho hidrógeno puede ser reemplazado por metales.

Arrhenius en 1884 propone su teoría de la disociación electrolítica, la cual no fue aceptada sino hasta 1887. De esta teoría se derivaron sus definiciones de los ácidos y las bases: los ácidos producen iones hidrógeno al estar disueltos en agua y las bases producen iones hidróxido en la misma situación. Para Arrhenius, las reacciones de neutralización de los ácidos con las bases podían verse como: $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$.

Entre 1895 y 1911, Alfred Werner hace algunas críticas a esta última teoría, proponiendo una forma nueva de representar la disociación de los ácidos y las bases, de la siguiente forma:



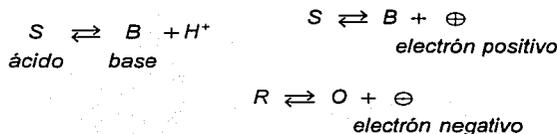
así para cada equilibrio tenía dos compuestos diferentes, los anhidro-ácidos y acuo-ácidos, y las anhidro-bases y las acuo-bases. Los anhidro-ácidos son compuestos que en disolución acuosa se combinan con los iones hidróxido del agua hasta que se alcance la concentración de iones hidrógeno característica de dicho ácido, y así se obtiene como producto un acuo-ácido. Las anhidro-bases son compuestos que se combinan con los iones hidrógeno del agua en disolución acuosa hasta que alcanza la concentración de iones hidróxido característica, dando como producto las acuo-bases que son compuestos de adición del agua.

Hantzsch y Ley, en 1899, proponen su visión acerca de los ácidos, diciendo que "los ácidos son compuestos de hidrógeno que tienen una cierta tendencia a formar sales tanto mediante adición como por sustitución, y su acidez se determina por la tendencia que tienen a formar sales verdaderas." De esta forma los iones hidrógeno adquieren un rol secundario.

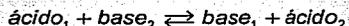
Una de las limitaciones de la teoría de Arrhenius radica en que sólo es aplicable a las disoluciones acuosas, por lo que Franklin en 1905 da su teoría que pretendía obtener un modelo más general para otros disolventes, diciendo que todo disolvente sufre una auto-ionización, generando un catión

(ácido) y un anión (base): *Disolvente = catión + anión*. Un ácido es aquel que hace aumentar la concentración del catión característico del disolvente y base la que aumenta la concentración del anión característico.

Siguiendo por la línea de investigación de la producción de los iones hidrógeno, J.N. Brønsted y T.M. Lowry en 1923, de forma independiente llegan a otra definición más general de los ácidos y las bases. Brønsted [Brønsted, 1923] intentando construir un modelo más global que se equiparará al de las reacciones óxido-reducción, propone lo siguiente:



que además buscaba ser independiente del disolvente. Por esto los ácidos pueden identificarse como donadores de protones y las bases comoceptoras de éstos, incluyendo dentro de esta definición no sólo a moléculas sino también a los iones. Además en Brønsted (1923) se hace referencia al concepto de ácidos y bases conjugados (llamados por él ácidos y bases correspondientes), que son aquellos que cumplen con la ecuación que él propuso, por lo que es importante respetar la congruencia de la carga eléctrica. En torno a las reacciones ácido-base propone un sistema diferente al de Arrhenius y lo logra mediante la combinación de dos sistemas ácido-base, dando la ecuación:

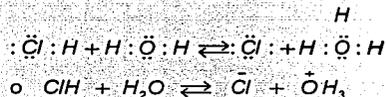


con lo que este tipo de reacciones no se ven como la formación de sales y agua, sino la transferencia de iones hidrógeno entre especies.

T.M. Lowry, en Lowry (1923), basándose en los trabajos de Hantzsch, propone que la existencia de los pseudo-ácidos y ácidos verdaderos puede verse como las formas ionizadas y no ionizadas del ácido; de ahí dice lo siguiente:

"Es un hecho importante que la acidez de los ácidos fuertes, aparentemente sólo se desarrolla en mezclas y nunca en compuestos puros. Incluso únicamente el cloruro de hidrógeno se vuelve ácido cuando se mezcla con agua. Esto puede explicarse mediante el rechazo del núcleo de hidrógeno a existir como especie libre...El efecto de mezclar cloruro de hidrógeno y agua es probablemente el de proveer de un aceptor al núcleo de hidrógeno, así la ionización

del ácido sólo involucra la transferencia de un protón de un octeto a otro...El ácido ionizado es una sal de oxonio ionizada."



Así que podría decirse que la aportación principal de T.M. Lowry a la construcción de una definición de los ácidos y las bases, está en la formación del ión hidronio y que el protón es simplemente una especie que se transfiere.

G.N. Lewis intenta aproximarse más a un modelo del estilo de las reacciones de óxido-reducción. Propone que una sustancia básica es aquella que tienen un par solitario de electrones que puede usar para completar el grupo estable de otro átomo y una sustancia ácida es aquella que puede emplear un par solitario de otra molécula para completar el grupo estable de alguno de sus propios átomos. $A + : B \rightleftharpoons A : B$, donde A:B recibe varios nombres como aducto, sal, complejo, complejo ácido-base. En esta teoría ácido-base se elimina cualquier referencia o dependencia a los tipos de iones característicos; ni los iones hidrógeno ni los hidróxido actúan como una *conditio sine qua non* para las condiciones ácidas o básicas.

A partir de esta última propuesta han surgido nuevas teorías, que generalmente no están incluidas en los currículos de bachillerato; inclusive la teoría de Lewis es poco común que se imparta. Según Pereira (1999), éstas son las teorías posteriores:

- ❖ Teoría de Lux (1938) Considera al ión óxido como la especie transferida, por lo que ácido es un receptor de O^{2-} y base es un dador.
- ❖ Teoría de Usanovich (1939) Define ácido como una especie que reacciona con una base para formar sales, dando cationes, o aceptando aniones o electrones; una base es una especie que reacciona con un ácido para formar sales, dando aniones o electrones, o combinándose con cationes.
- ❖ Teoría ionotrópica (1954) Según esta teoría las reacciones ácido-base pueden ser formuladas de la siguiente forma:

$$\begin{array}{l} \text{base} + \text{cati\u00f3n caracter\u00edstico} = \text{\u00e1cido} \\ \text{base} = \text{\u00e1cido} + \text{ani\u00f3n caracter\u00edstico} \end{array}$$

Análisis de los Libros Antiguos

Una vez hecho un pequeño esquema de lo que ha sido la evolución de las teorías ácido-base, analizaremos cómo aparecen estas teorías en los libros de Química General antiguos, con la idea de descubrir aquellas modificaciones que pudieron sufrir las teorías ácido-base de Arrhenius y de Brønsted-Lowry.

Analizamos 33 libros y 1 diccionario enciclopédico entre los años 1887, que se da a conocer la teoría de Arrhenius revisada, hasta 1987. Para la selección de los libros no se consideró un espacio específico de tiempo entre unos y otros, sino que se hizo de acuerdo con su disponibilidad.

El análisis, a *grosso modo* lo haremos mediante dos vías, una que consiste en ver cómo van apareciendo en los libros de texto cada una de las teorías de ácidos y bases o en qué términos las definen; la otra vía consiste en analizar cómo modifican los enunciados utilizados para formular las definiciones de ácidos y bases según Arrhenius o Brønsted-Lowry.

Análisis sobre la aparición de las teorías

Encontramos que desde 1887 hasta 1915 predomina el uso de la teoría de Liebig, es decir, aquella que menciona que "los ácidos son compuestos hidrogenados cuyo hidrógeno puede ser en parte o totalmente sustituido por un metal para formar sales y las bases son hidratos metálicos cuyo radical puede reemplazar al hidrógeno de los ácidos para formar sales". También podemos ver en algunos libros [Luanco, 1893; Mañas Bonvi, 1911] que cuando se habla de los ácidos y las bases se hace referencia a sus propiedades macroscópicas como es, que los ácidos desprenden hidrógeno al reaccionar con el magnesio, o que las bases "cambian en pardo rojizo el color amarillo de la cúrcuma" [Luanco, 1893].

El primer libro en que aparece la teoría de Arrhenius es del año 1915, es decir, 28 años después de ser enunciada la teoría por el autor y 12 años más tarde de que Svante Arrhenius haya recibido el premio Nobel por su teoría de la disociación electrolítica (1903).

Es importante señalar que encontramos un libro de publicación posterior (1917) [Ostwald, 1917] que define los ácidos y las bases de acuerdo con la teoría de Davy (los ácidos contienen hidrógeno) o con sus propiedades macroscópicas (sabor, olor, cambio del color de los indicadores). Es probable

que la aparición tan tardía de estas definiciones en un libro de texto, quizá se debe a que es la traducción de un libro alemán, el cual seguramente fue editado y escrito varios años antes.

En un libro de 1941 [Aleixandre, 1941] encontramos que se hace referencia a la aportación de T.M. Lowry sobre la formación del ión hidronio, aquí llamado hidroxonio y esquematizado como OH_3^+ . De ese mismo año, encontramos un libro [Jimeno, 1941] que ya utiliza por primera vez la teoría de Brønsted-Lowry para definir los ácidos y las bases además de la teoría de Arrhenius. No podríamos asegurar en qué año se empieza a emplear la teoría de Brønsted-Lowry, pero en algunos libros como el Jimeno (1941) se hace referencia a que fue a partir de los años 30; y en el *Journal of Chemical Education*, el primer artículo en el que se hace alusión a la aparición de esta nueva teoría es de Cady y Elsey (1928).

Del año 1942, hallamos un libro [Blas, 1942] que únicamente usa la teoría de Arrhenius, y vemos que vuelve a suceder en un libro de 1946 [Puig, 1946]. Resulta muy interesante descubrir que hay un libro de 1954 [Bavink, 1954] que inclusive utiliza las definiciones de Liebig.

Es curioso descubrir que en una tercera edición del libro de Linus Pauling [Pauling, 1955] ya no se enuncie la teoría de Brønsted-Lowry, a pesar de que sí aparece en la primera edición del año 1949, es decir, 6 años antes.

Análisis de cómo evolucionan las dos teorías ácido-base

No se hace referencia a los autores de las definiciones, salvo en 1934 que se da la definición enmarcada dentro de la teoría de disociación de Arrhenius [Molinari, 1934]; en 1941 que se nombra únicamente a Arrhenius, que no a Brønsted-Lowry [Jimeno, 1941]; o en ese mismo año, en Vitoria (1941), que se nombra a Brønsted pero no a Arrhenius. En 1944 [Babor y Lehrman, 1944] ya se nombra a ambos autores cuando se enuncian sus teorías y a partir de ese año van apareciendo en los libros los nombres de los autores; hasta que en 1966 ya aparecen de forma constante los tres autores.

Teoría ácido-base de Arrhenius

Haciendo un análisis cronológico, de los 23 libros en que aparece la teoría ácido-base de Arrhenius, no es fácil descubrir un patrón de evolución en la forma de enunciar la teoría. Quizá lo único que podría destacarse en dos de los libros [Vitoria, 1918; Vitoria, 1941] es que a los iones hidrógeno o iones hidróxido, se les llama "iones de hidrógeno" o "iones de hidroxilo" respectivamente.

En 14 de los libros no se hace referencia a la disociación, sino simplemente se enuncia que el proceso de obtención de los iones característicos de los ácidos y de las bases ocurre en disolución acuosa o simplemente en disolución. En los libros de Puig (1946) y Mendiola (1947) únicamente dice que los ácidos y las bases producen o proporcionan iones hidrógeno o hidróxido.

Encontramos dos libros más [Mendiola, 1947; Morcillo, 1983] en los que no se habla de disociación sino de ionización de los ácidos y las bases.

Tampoco hallamos relación alguna en el uso del nombre que se le da a los iones hidróxido, recibiendo varios nombres como: iones oxidrilo, iones hidroxilo, anión OH, iones OH, OH⁻, iones hidróxido.

Como era de esperarse, existen varios términos para señalar que "se obtienen" los iones característicos de los ácidos y las bases; estos son: produce, puede dar, da, se caracteriza por, proporciona, forma, desprende, da lugar a, libera.

Teoría ácido-base de Brønsted-Lowry

Haciendo una revisión general de las definiciones de ácidos y bases según la teoría de Brønsted-Lowry, podríamos decir que se nota cómo se van simplificando a través del tiempo. En los libros más modernos vemos que los ácidos son definidos como donadores de protones y las bases comoceptoras de éstos.

Es curioso notar que cuando se empieza a nombrar a los autores de las teorías, 1941 [Vitoria, 1941] únicamente se hace alusión a J.N. Brønsted y ya en 1966 se hace referencia a los dos. También nos llamó la atención que hay un libro de 1941 [Aleixandre, 1941] que no nombra la teoría como tal, sino que hace referencia a la existencia en disolución acuosa del ión hidronio. Podemos observar que en un libro de 1969 [Gray y Haight, 1969] la definición de ácidos de Arrhenius dice que "dan H⁺ (H₃O⁺) en agua", notándose una clara mezcla con aquello propuesto por T.M. Lowry.

En las definiciones enunciadas en los libros parecería no haber un acuerdo en la forma de llamar al tipo de entidades químicas que cumplen con estas definiciones, llamándoseles de formas diversas: cuerpos, sustancias, partículas sin carga específica, especie molecular o iónica, especie, molécula o ión, especie química. Es sorprendente que de los 17 libros en los que se enuncia la teoría solamente en 6 de ellos se hace la aclaración que en esta teoría se incluyen tanto a moléculas como a los iones, como entidades que pueden ser ácidos o bases.

Como en el caso de la teoría de Arrhenius, aquí también se utilizan varios términos distintos para referirse por un lado a la cesión de protones de los ácidos (cede, desprende, puede ceder, capaz de ceder, tiende a perder, tiende a donar, donador, dador, tiende a liberar, capaz de disociar) y por otro a la captación de protones de las bases (acepta, capta, da cabida, puede combinar, capaz de captar, capaz de adquirir, puede captar, tiende a aceptar/ ganar, aceptor, capaz de ganar, puede aceptar, capaz de aceptar). En tres de los libros [Babor y Lehrman, 1944; Stranks *et al.*, 1967; Morcillo, 1983] se aclara que el protón es transferido a otra sustancia que es un ácido o una base según el caso. Es notable que únicamente en dos de los libros [Jimeno, 1941; Uson, 1970] se utilice una ecuación parecida a la que Brønsted empleó en su artículo original para esquematizar el comportamiento de los ácidos y las bases: $HA \rightleftharpoons A^- + H^+$

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS TRABAJOS REALIZADOS ANTERIORMENTE SOBRE CONCEPCIONES ALTERNATIVAS EN ÁCIDO-BASE

Ya hemos visto la importancia de las concepciones alternativas y su relación con el aprendizaje y pensamos que es de suma importancia la investigación de éstas. No sólo es importante investigar las concepciones alternativas relacionadas con el tema ácido-base, sino inclusive en todos los aspectos que aprenden los alumnos en la escuela y mucho más cuando se trata de los que presentan especiales dificultades para el proceso del aprendizaje de los alumnos y de enseñanza para los profesores.

Como ya lo hemos mencionado, de unos años para acá, se ha ido acrecentando la cantidad de estudios realizados acerca de las concepciones alternativas en el estudio de la química, quizá teniendo un especial interés las áreas de estructura de la materia y cambio químico. Sin embargo, el tema de ácido-base también ha tenido un cierto seguimiento y en la revisión bibliográfica que realizamos encontramos 28 artículos. En los artículos que encontramos se refieren no sólo al estudio de las concepciones alternativas, sino que hay algunos de estos documentos, como el que hace De Manuel Torres (1998) —que es parte de un trabajo más amplio en el que se presenta una propuesta didáctica respecto al tema ácido-base— en el que se hace ya una revisión sobre los artículos publicados en este tema.

Quizá no tiene mucho sentido hacer referencia uno por uno, a todos los artículos encontrados y las concepciones alternativas descubiertas. Preferimos centrar esta sección del trabajo para enfocar nuestra atención únicamente en aquellos estudios que han hecho hallazgos significativos para aquellos conceptos en los que decidimos centrar nuestra investigación:

- a) Carácter ácido-base de productos cotidianos
- b) Identificación de ácidos y bases
- c) Propiedades características tanto de ácidos como de bases
- d) Manejo de la teoría ácido-base de Arrhenius
- e) Manejo de la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry
- f) Fuerza de los ácidos y las bases
- g) Identificación de especies conjugadas

- h) Carácter ácido-básico de las disoluciones de sales
- i) Reacciones de neutralización
- j) Interpretación de procesos ácido-base en la vida cotidiana

Concepciones alternativas halladas en la literatura.

Respecto a las dificultades y la generación de concepciones alternativas que puede presentar este tema en particular, Garnett *et al.* (1995) dice lo siguiente:

"...la confusión entre la fuerza de los ácidos y bases y su concentración, la hidrólisis de las sales, la selección y el rol de los indicadores en las titulaciones, la diferencia entre puntos de equivalencia y fin de las valoraciones, y las propiedades anfóteras de algunas sustancias generarán concepciones alternativas adicionales".

Ahora veremos una revisión de aquellas concepciones alternativas y otros datos curiosos que hemos hallado en la literatura:

a) Carácter ácido-base de productos cotidianos

- ❖ Cros *et al.* (1986,1988) Los alumnos del estudio sólo beberían disoluciones con un pH de 6 y prefieren las más básicas.
- ❖ Ross y Munby (1991) Las frutas son básicas y los ácidos nunca se deben ingerir.
- ❖ Vidyapati y Seethramappa (1995) Las sustancias ácidas más identificadas son: 64% frutas, 69.3% refrescos, 26.6 % vinagre. Los antiácidos son compuestos llamados así porque no reaccionan con los ácidos.
- ❖ De Manuel Torres *et al.* (1998) De una lista de productos comunes como café, té, leche, lejía, etc. una mayoría de alumnos no logra decir cuáles son ácidos y cuáles son básicos.

b) Identificación de ácidos y bases

- ❖ Cros *et al.* (1986, 1988) Los alumnos citan con cierta facilidad los nombres de tres ácidos (CH_3COOH , HCl y H_2SO_4), pero no sucede lo mismo con las bases (NaOH y NH_3). Esto lo atribuye además a que en francés (al igual que en otros idiomas) se nombra a los ácidos utilizando esta palabra y por eso son más fáciles de identificar.
- ❖ Bardanca *et al.* (1993) Descubre en su estudio que a los estudiantes parece resultarles más sencillo explicar qué entienden por ácidos, que explicar qué entienden por bases. Además muchos estudiantes relacionan la palabra *básico* con *esencial* o *fundamental*.

- c) Propiedades características tanto de ácidos como de bases
- ❖ Cros *et al.* (1986) Un tercio de los alumnos universitarios del estudio realizado dan definiciones puramente descriptivas (basándose en el valor de pH).
 - ❖ Hand y Treagust (1988) Los alumnos consideran que una de las propiedades de los ácidos es que corroen los metales y no que reaccionan con ellos.
 - ❖ Ross y Munby (1991) Los ácidos tienen sabor amargo y picante, queman, son venenosos, fuertes y poderosos. Todas las sustancias con olor fuerte son ácidos.
 - ❖ Jiménez *et al.* (en prensa). Los estudiantes universitarios consideran que los ácidos son sustancias venenosas para el organismo y que lo contrario es neutro, inocuo e inerte.
- d) Manejo de la teoría ácido-base de Arrhenius
- ❖ Bardanca *et al.* (1993) En los estudiantes de un nivel correspondiente al bachillerato, los alumnos definen los ácidos, predominantemente, de acuerdo con la definición de Arrhenius. Para los alumnos del último año de la carrera de Químico Farmacéutico, se encuentran los siguientes porcentajes en el uso de las definiciones de ácidos y bases de acuerdo con cada una de las teorías: 7% la teoría de Arrhenius, 7% la teoría de Lewis, 33% la teoría de Brønsted-Lowry y 53% plantean definiciones de acuerdo con las dos últimas teorías.
- e) Manejo de la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry
- ❖ Cros *et al.* (1986, 1988) Entre los dos estudios, aumenta el número de estudiantes que definen los ácidos en términos de la teoría de Brønsted-Lowry (82% ahora y 52% antes), al igual que para el caso de las bases (47% antes y 63% ahora).
 - ❖ Jiménez (1998) Los estudiantes universitarios consideran que una sustancia sólida es ácida o básica sólo si está en disolución, ya que sólo si es un líquido es capaz de teñir el papel indicador.

f) Fuerza de los ácidos y las bases

- ❖ Ross y Munby (1991) Un ácido fuerte contiene más enlaces hidrógeno que uno débil, y conforme más fuerte es un ácido, tiene un pH mayor.
- ❖ Nakhleh y Krajcik (1994) Los alumnos confunden la fuerza de los ácidos con el "daño", "dolor" y reactividad.

g) Identificación de especies conjugadas

- ❖ Schmidt (1995, 1997) Los alumnos creen varias cosas respecto a los pares ácido-base conjugados: que un par conjugado está formado por aquellas especies que están involucradas en la transferencia del protón (la donante y la receptora); o que el par conjugado está formado por una especie cargada positivamente y una negativamente (como para que las cargas se neutralicen).

h) Carácter ácido-básico de las disoluciones de sales

- ❖ Zoller (1990) Las sales, como se forman de un proceso de neutralización de los ácidos con las bases, son especies "neutras".

i) Reacciones de neutralización

- ❖ Ross y Munby (1991) Advierten que los alumnos creen que se produce un gas en la neutralización de HCl y KOH.
- ❖ Schmidt (1991) Los estudiantes, respecto a la neutralización, piensan que obtendrán una disolución neutra sin considerar la fuerza del ácido y la base [Vidyapati y Seetharamappa (1995)], que una disolución neutra no contiene ni iones hidronio ni hidróxido porque reaccionan completamente para dar agua.

j) Procesos ácido-base en la vida cotidiana

- ❖ Cros *et al.* (1986, 1988) Los estudiantes no perciben la relación entre las nociones científicas que dominan y sus aplicaciones, mucho menos en su vida diaria.

5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este estudio hemos investigado las concepciones alternativas en relación con el tema ácido-base en alumnos de segundo año de bachillerato (17-18 años), centrándonos en las siguientes cuestiones:

- ❖ Qué criterios utilizan los alumnos para determinar el carácter ácido-básico de algunos productos domésticos.
- ❖ Qué tipo de argumentos usan los alumnos para determinar el carácter ácido-básico de ciertas sustancias
- ❖ Qué idea tienen los alumnos sobre lo que es un ácido y una base de acuerdo con la teoría de Arrhenius
- ❖ Qué idea tienen los alumnos sobre lo que es un ácido y una base de acuerdo con la teoría de Brønsted-Lowry
- ❖ Qué conocimiento tienen los alumnos de los ácidos y bases fuertes y débiles.
- ❖ Qué idea tienen los estudiantes acerca de las especies conjugadas.
- ❖ Qué razonamiento usan los alumnos para saber si la disolución de una sal es ácida, básica o neutra.
- ❖ Qué criterio usan los alumnos para identificar una reacción ácido-base.
- ❖ Qué uso hacen los estudiantes de las teorías ácido-base para la interpretación de fenómenos químicos en la vida cotidiana.

Para tal fin, hemos hecho uso de cuestionarios con preguntas abiertas, para analizar las justificaciones dadas y no sólo encontrar las concepciones alternativas de los estudiantes que formaron parte de este estudio, sino, más allá, pretendemos encontrar los posibles orígenes de dichas concepciones. De acuerdo con la búsqueda de las posibles causas de las concepciones alternativas analizamos los contenidos –de los aspectos ácido-base en los que centramos esta investigación– presentes en los libros de texto. También deseáramos encontrar las dificultades inherentes a estos temas.

6. ANÁLISIS DE LOS LIBROS DE TEXTO ESPAÑOLES ACTUALES EMPLEADOS EN EL BACHILLERATO

Como ya hemos mencionado, hay varias causas posibles de la existencia de las concepciones alternativas. Una de ellas es el ambiente social de los estudiantes y también el ambiente escolar puede influir en el desarrollo de éstas por parte del alumno. Dentro del ambiente escolar, uno de los orígenes puede estar directamente en la instrucción por parte del profesor y también puede surgir de los libros de texto que utilice el profesor o el propio alumno.

Jiménez *et al.*(2002) realizan un análisis sobre los procesos ácido-base en libros de texto, examinando en ellos el tratamiento que se le da a los contenidos, para intentar encontrar la relación de este tratamiento con las concepciones alternativas encontradas en los estudiantes. De hecho, cada vez van en aumento las investigaciones en las que se realizan análisis de los libros de texto, ya que como dice Jiménez *et al.* (2002) "es indiscutible la importancia que los profesores y los alumnos les conceden en las clases de Ciencias, como muestran algunos estudios (Chiappeta *et al.*, 1991; Otero, 1990): casi todos los profesores utilizan un sólo libro de texto la mayor parte del tiempo en clase."

Nosotros hacemos una evaluación únicamente de aquellos temas relacionados con nuestra investigación y de cómo estos son abordados en algunos libros de texto españoles. Los aspectos en los que centramos nuestro análisis son los siguientes:

- ❖ Productos cotidianos y su carácter ácido-básico
- ❖ Propiedades generales de los ácidos y las bases
- ❖ Teoría ácido-base de Arrhenius
- ❖ Teoría ácido-base de Brønsted-Lowry
- ❖ Ácidos y bases, fuertes y débiles
- ❖ Especies conjugadas
- ❖ Carácter ácido, básico o neutro de disoluciones de sales
- ❖ Reacciones ácido-base
- ❖ Fenómenos químicos en la vida cotidiana.

Análisis del contenido de algunos libros de texto de bachillerato

En total analizamos 6 libros de texto catalanes de segundo curso de bachillerato. En el caso de Aliberas *et al.* (1998) utilizamos también el de primero de bachillerato porque algunos conceptos no aparecían en el de segundo.

Productos cotidianos y su carácter ácido-básico

El tema de los productos cotidianos y su carácter ácido-básico es tratado con un énfasis diferente en cada uno de los libros. Encontramos que Caamaño y Obach (1999) presentan una tabla en la que se incluyen algunos ácidos y algunas bases, su nombre y se hace referencia a aquellos productos de la vida cotidiana en que pueden encontrarse (el ácido clorhídrico en el sulfamán, el ácido acético en el vinagre, el hidróxido de sodio en algunos limpiadores domésticos). Otro libro que nos llamó la atención por la importancia que prestan a la relación entre los productos domésticos y la vida cotidiana es el Fornells *et al.* (1999), que incluso tiene un capítulo en que se tratan estos temas y entre ellos el carácter ácido-básico de algunos productos.

En Quílez *et al.*, al principio del capítulo, se propone una actividad para determinar la acidez o basicidad de una lista de productos domésticos utilizando un indicador ácido-base; además más adelante encontramos un par de tablas donde se especifica las aplicaciones de algunos de los ácidos y las bases más conocidos.

Los libros que prestan menos atención a este tema son Masjuan *et al.* (1999) y Del Barrio y Montejo (1999), ya que dan muy pocos ejemplos sobre el carácter ácido básico de algunos productos utilizados en la vida diaria. En este último libro vemos incluso que los ejemplos aparecen en el margen de las hojas, ni siquiera incluido como parte del texto, con lo que puede ser más difícil captar la atención del lector. En Aliberas *et al.* (1997), encontramos una tabla con algunos productos de la vida cotidiana y sus valores de pH.

Propiedades generales de los ácidos y las bases

Para presentar todas aquellas propiedades que de acuerdo con los libros de texto son características de los ácidos y las bases, decidimos construir dos tablas (una para ácidos y una para bases), en las que enumeramos y hacemos referencia al libro en el que aparece cada propiedad.

Propiedades características de los ácidos	Libros en que aparece
Solubles en agua	1
Electrolitos	1, 3, 4, 5
Cáusticos (corrosivos)	1
Vuelven rojo el papel tornasol	1, 2, 4, 5, 6
Tienen gusto agrio	1, 3, 4, 5, 6
Al reaccionar con metales dan H ₂ (g)	1, 2, 3, 4, 5, 6
Al reaccionar con carbonatos dan CO ₂ (g)	1, 2, 3, 4, 5
Neutraliza las bases	2, 4
Tiene sabor picante	2
Pierden algunas de sus propiedades al reaccionar con las bases	3, 5
Disuelven el mármol	6

Tabla 1. Propiedades características de los ácidos presentes en diferentes libros de texto españoles

1. Caamaño y Obach, 1999
2. Fornells *et al.*, 1999
3. Masjuan *et al.*, 1999

4. Quilez *et al.*
5. Aliberas *et al.*, 1998
6. Del Barrio y Montejo, 1999

Propiedades características de las bases	Libros en que aparece
Solubles en agua	1
Electrolitos	1, 3, 4, 5
Cáusticas (corrosivas)	1
Vuelven azul el papel tornasol	1, 2, 3, 4, 5, 6
Tienen gusto amargo	1, 5, 6
Tienen tacto jabonoso	1, 2, 3, 4, 6
Neutralizan a los ácidos	2, 4
Tienen gusto de lejía	2
Pierden algunas de sus propiedades al reaccionar con los ácidos	3, 5, 6
Disuelven los aceites y el azufre	3
Tienen sabor cáustico	3
Tienen sabor a bicarbonato	4

Tabla 2. Propiedades características de las bases presentes en diferentes libros de texto españoles.

1. Caamaño y Obach, 1999
2. Fornells *et al.*, 1999
3. Masjuan *et al.*, 1999

4. Quilez *et al.*
5. Aliberas *et al.*, 1998
6. Del Barrio y Montejo, 1999

Como podemos observar en las dos tablas, hay más coincidencias en la descripción de las propiedades que distinguen a los ácidos que en las de las bases. En la tabla 2 podemos ver que no hay una forma de describir el gusto que tienen las bases. Además hay pocas propiedades que permitan identificar a las bases aparte de su neutralización con los ácidos, salvo su tacto jabonoso y el color característico en el papel tornasol.

Teoría ácido-base de Arrhenius

Uno de los puntos que llama la atención al analizar la forma en que se enuncian las definiciones de ácidos y bases según Arrhenius, es que sólo tres de los libros ponen énfasis en la disociación de las moléculas en sus iones [Caamaño y Obach, 1999; Quílez *et al.*; Masjuan *et al.*, 1999]. Además hemos encontrado que uno de los libros [Del Barrio y Montejo, 1999] ni siquiera hace referencia a la teoría de la disociación iónica de Arrhenius. En estos libros encontramos varios términos para expresar la obtención de iones: dar, liberar y formar.

Teoría ácido-base de Brønsted-Lowry

Del análisis realizado lo que más llama la atención es que de los seis libros, únicamente tres hacen la aclaración que los ácidos y bases de Brønsted-Lowry pueden ser tanto moléculas como iones [Caamaño y Obach, 1999; Quílez *et al.*; Masjuan *et al.*, 1999]. Otro punto a destacar es que nada más en dos libros se hace la aclaración que los protones de los que se habla en la teoría de Brønsted-Lowry, es lo mismo que los iones H^+ .

Ácidos y bases, fuertes y débiles

En todos los libros analizados, se hace referencia a la fuerza de los ácidos y las bases, aunque como en casos anteriores, con enfoques diferentes. Se podría decir que hay libros que pueden ser más completos, ya que proporcionan una mayor cantidad de información al lector para que éste pueda no sólo conocer las características que tienen los ácidos y las bases fuertes y débiles, sino que incluso disponer de algunas guías para poder clasificar estos compuestos; éste es el caso del libro de Caamaño y Obach (1999), que hace referencia a la tendencia de cada una de estas sustancias a ceder o aceptar iones hidrógeno, a si las reacciones de ionización o protonización son totales (para el caso de los ácidos y las bases fuertes) o parciales (para el caso de los ácidos y las bases débiles). Caamaño y Obach (1999) proporcionan una lista de tipos de compuestos que pueden identificarse como ácidos o bases fuertes o débiles (las aminas son bases débiles, los ácidos carboxílicos son ácidos débiles). También en los libros de Fornells *et al.* (1999) y Masjuan *et al.* (1999) se establece la relación entre la estructura química y la fuerza de los ácidos y las bases, aunque centran mucho este tema en torno al valor de la constante de acidez de las diferentes especies. En Quílez *et al.*, Aliberas *et al.* (1998) y Del

Barrio y Montejo (1999) utilizan los valores de las constantes de acidez para poder identificar cuál es la fuerza de los ácidos y las bases.

Creemos que al tratar el tema de la fuerza de los ácidos y las bases en los libros de texto, es importante considerar las características estructurales específicas de los ácidos y las bases fuertes y débiles para identificarlos más fácilmente. Es posible que, aunque se instruya a los alumnos en las características estructurales de estos compuestos, los alumnos basen este tema mucho más en el uso de la memoria.

Especies conjugadas

El concepto de las especies conjugadas puede verse como una derivación de la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry e incluso en algunos libros aparece de esta forma. A pesar de su importancia dentro de la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry, no es un concepto que se explique con mucho detalle en ninguno de los libros. En los libros de texto encontramos que sus autores centran la explicación de las especies conjugadas en la transferencia del protón de una especie (el ácido) a la otra (la base), para dar como resultado las dos especies conjugadas de los reactivos. Únicamente en dos de los libros no se hace referencia al modelo general de transferencia del protón, presentado por Brønsted:



y en algunos sólo se enuncia que los pares ácido-base conjugados son HA/A^- y HB^+/B . De estos libros el de Masjuan *et al.* (1999) es el único en que se hace la aclaración sobre que "la base conjugada tiene un protón menos y una carga negativa más (o carga positiva menos) que el ácido correspondiente". Los otros dos libros [Caamaño y Obach, 1999; Del Barrio y Montejo, 1999] enuncian a los pares ácido-base conjugados como "ácidos o bases que únicamente difieren por un protón".

Carácter ácido, básico o neutro de las disoluciones de sales

En todos los libros revisados encontramos que la explicación del carácter ácido, básico o neutro de las sales se basa en la reacción de "hidrólisis" de la sal con el agua. En algunos casos se aclara que así se llama a la reacción en la que los iones (cationes o aniones), por su carácter ácido o básico, reaccionan con el agua para dar iones hidrógeno o hidróxido, según el caso. En

Fornells *et al.* (1999) se analizan los tipos de iones de acuerdo con su fuerza con relación a la del agua, que dan así disoluciones con caracteres diferentes.

En tres libros se sigue la estrategia que consiste en analizar la acidez o basicidad de los aniones o cationes de acuerdo con la fuerza de su especie conjugada. Sabemos que hay dos tipos de cationes: aquellos que son los ácidos conjugados de bases débiles y que, por tanto, son ácidos débiles, o aquellos que son metales alcalinos o alcalinotérreos que son neutros. También vemos que para los aniones también hay dos tipos: las bases conjugadas de ácidos fuertes, que por eso son neutros, o las bases conjugadas de ácidos débiles que son bases débiles. [Caamaño y Obach 1999; Quílez *et al.*; Aliberas *et al.*, 1998].

Del Barrio y Montejo (1999) no sólo hacen referencia a la estrategia de la fuerza de los cationes y aniones de la especie conjugada para conocer el carácter ácido, básico o neutro de las disoluciones de sales; además presentan una estrategia que se basa en determinar el ácido o la base de la que supuestamente proviene esta sal y, de acuerdo con la fuerza de ese ácido y esa base, inferir si la disolución será ácida, básica o neutra. Este último mecanismo también se incluye en Masjuan *et al.* (1999) para saber el carácter de las disoluciones de sales.

Reacciones ácido-base

Los únicos dos libros que tienen una sección dedicada exclusivamente a las reacciones ácido-base, son Aliberas *et al.* (1997) y Caamaño y Obach (1999). En estos dos libros se presentan incluso los dos tipos de reacciones ácido-base (llamadas también reacciones de neutralización):



En Caamaño y Obach (1999), Quílez *et al.*, Aliberas *et al.* (1998) y Del Barrio y Montejo (1999), después de hablar de la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry se aclara que las reacciones ácido-base en medio no acuoso pueden verse como una transferencia protónica.

En Quílez *et al.* y Aliberas *et al.* (1997) se menciona el modelo de reacción de neutralización propuesto por Arrhenius: $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$, aunque también aparece en Masjuan *et al.* (1999), diciéndose aquí: que los productos de las reacciones de neutralización son una sal y agua y hace referencia a los distintos valores de pH que tienen las disoluciones resultantes de reacciones ácido-base entre especies de diferente fuerza. En Fornells *et al.* (1999) encontramos que se consideran las reacciones ácido-base aludiendo a las volumetrías de neutralización.

Es importante notar que casi en todos los libros analizados, las reacciones ácido-base y las reacciones de neutralización son vistas como procesos equivalentes, a pesar que no se obtengan necesariamente disoluciones neutras. Quizá sería mucho mejor que no se trataran indistintamente para evitar crear confusión en los alumnos.

Fenómenos químicos en la vida cotidiana

Como ya habíamos visto al tratar el carácter ácido-básico de los productos cotidianos, el aspecto de los fenómenos químicos en la vida cotidiana no aparece con mucha frecuencia en los libros de texto. Sin embargo encontramos libros como el Fornells *et al.* (1999) que dedica incluso todo un capítulo a los aspectos del tema ácido-base en la vida cotidiana. En este libro no se menciona sólo el carácter ácido o básico de algunos productos de la vida cotidiana (sal de uvas, aceite de oliva, fármacos), sino que incluso habla de algunos procesos que ocurren en relación con algunos de estos productos, añadiendo además temas como la lluvia ácida.

El tema de la lluvia ácida vemos que es muy recurrido, ya que aparece en dos libros más [Quílez *et al.*; Del Barrio y Montejo, 1999], aunque encontramos otros más, como pueden ser los agentes de limpieza y cómo funcionan algunos de ellos, los aditivos en los alimentos, la acidez del estómago, el pH del suelo.

Quizá el libro en que encontramos ejemplos de procesos relacionados con Ciencia-Tecnología-Sociedad que pueden generar menor interés en los alumnos son los que aparecen en el libro de Masjuan *et al.* (1999) que se refieren a la obtención, propiedades y aplicaciones del ácido sulfúrico y a las del ácido nítrico.

En Caamaño y Obach (1999) se dedica un par de hojas al final del capítulo a describir procesos ácido-base que ocurren en la vida cotidiana, como la efervescencia de la sal de uvas o la de la levadura química y cómo funcionan los antiácidos. En Aliberas *et al.* (1998) ni siquiera se toca el tema.

7. PRESENTACIÓN DEL CUESTIONARIO

Una vez determinados aquellos conceptos que nos interesaba investigar en este estudio, decidimos elaborar un cuestionario que nos permitiera poder indagar sobre las concepciones alternativas de los alumnos de bachillerato.

A continuación hacemos una descripción detallada del proceso de elaboración del cuestionario y de aquellas cuestiones que nos interesaba investigar en cada caso, así como la presentación de las preguntas. Por último hacemos una descripción de la muestra a la que fue pasado este cuestionario.

Elaboración del cuestionario

Para la elaboración del cuestionario, primero hicimos la revisión de los contenidos que componen el tema de ácido-base y fuimos planteando aquellas dificultades a las que se debe enfrentar un estudiante al intentar comprender cada uno de los conceptos. Al mismo tiempo hicimos una revisión extensa en la literatura para conocer las concepciones alternativas en ácido-base ya detectadas y así tener una base para nuestro trabajo.

Decidimos utilizar como método de investigación el uso de cuestionarios, porque es el primer paso para ir conociendo las concepciones de los alumnos y porque dejaba una puerta abierta para realizar una investigación más a fondo.

Los cuestionarios empleados tenían preguntas abiertas, que requerían una respuesta específica y una justificación en casi todas ellas. En estas justificaciones hemos basado la mayor parte del análisis, por ser gracias a ellas que podemos llegar a conocer mejor las concepciones de los alumnos.

Con los cuestionarios realizamos una primera prueba en un grupo pequeño, para ver cómo funcionaban cada una de las preguntas. Gracias a esta primera prueba hicimos algunas modificaciones, sobre todo en la expresión del estado de agregación de los compuestos que aparecían, ya que creímos que eso podía influir en las respuestas de los alumnos. Estas modificaciones, sobre las que hablaremos más adelante, las hicimos sobre las preguntas: 2, 3A, 3B, 4A, 4B y 5.

A continuación elaboramos una justificación sobre cada una de las preguntas del cuestionario, que muestra las hipótesis que esperábamos confirmar en las respuestas de los alumnos.

Objetivos de las preguntas del cuestionario

¿Por qué son ácidos o básicos estos productos domésticos?

Pregunta 1. ¿Cuáles de los siguientes productos domésticos crees que son ácidos (A) o básicos (B)?

Producto	Ácido / Básico	¿Por qué?
Blanqueador		
Sal de uvas		
Ácido muriático		
Aspirina		
Vinagre		
Easy off		
Pastillas antiácidas		

Con esta pregunta intentábamos abordar la parte de Química-Tecnología-Sociedad (QTS) del tema ácido-base, y para ello nos pareció importante hacer uso de productos domésticos que pueden ser relativamente conocidos por los alumnos, como: el blanqueador (lejía en España), la sal de uvas (sal de frutas), el ácido muriático (sulfumán), la aspirina, el vinagre, el limpiador de hornos, las pastillas antiácidas. Con esta pregunta esperábamos detectar aquellos productos que reconocían y que además podían relacionar con sus propiedades ácidas o básicas. Realmente la asignación acerca de si el producto era un ácido o una base no parecía tener suma importancia, ya que incluso pensábamos que los alumnos podían determinarlo hasta de manera aleatoria; lo más importante pensamos que sería la justificación dada para cada caso.

Nos parece importante aclarar que uno de los problemas que enfrentamos en la elaboración de esta pregunta, radicaba en la forma en que pediríamos la justificación, ya que no queríamos exigir una respuesta dirigida, como podía ocurrir al preguntar por la sustancia presente; preferíamos algo más libre que permitiera a los alumnos desde escribir sobre las características observables del producto hasta rasgos específicos que lo hicieran poseer dicho carácter ácido-básico.

En especial, en esta pregunta pretendíamos descubrir cómo es que el alumno reconoce los productos domésticos como ácidos o básicos, esperando diversas respuestas:

- ❖ por la sustancia presente (para la aspirina es probable que los alumnos sepan que contiene ácido acetilsalicílico)
- ❖ por características que ellos identificarán con el comportamiento de los compuestos ácidos o básicos, que podían incluir cosas como que "los ácidos queman" o inclusive "las bases disuelven las grasas" (esto último para el caso de la lejía o el limpiador de hornos)
- ❖ por el nombre (tratándose de las pastillas antiácidas el nombre indica que son el "contrario" de los ácidos)
- ❖ por rasgos relacionados con los conceptos ácido-base aprendidos, aunque aquí podían incluir cosas como la reacción del hipoclorito de sodio en agua para determinar que es una disolución ligeramente básica, o incluso usar las teorías ácido-base. Podíamos esperar respuestas como "son ácidos porque contienen iones H^+ ", que no necesariamente denota que el alumno conozca la información previa que lo haga llegar a esta conclusión.

Es evidente que no pretendíamos obtener respuestas exclusivas de cada tipo, sino también combinaciones de ellas. Para esta pregunta esperábamos que los alumnos reconocieran mejor algunos productos que otros, así la aspirina y el vinagre como aquellos más conocidos, y el limpiador de hornos o el ácido muriático de los menos.

¿Por qué son ácidos o bases estos compuestos?

Pregunta 2.A. Identifica los siguientes compuestos como ácidos (A) o como bases (B) y nómbralos:

Fórmula	Ácido / Base	Nombre
HCl (g)		
KOH (s)		
CaO (s)		
CH ₃ COOH (l)		
NaH (s)		
H ₂ CO ₃ (ac)		

2.B. Justifica tu respuesta.

Fórmula	¿Por qué es un ácido? / ¿Por qué es una base?
HCl (g)	
KOH (s)	
CaO (s)	
CH ₃ COOH (l)	
NaH (s)	
H ₂ CO ₃ (ac)	

Esta pregunta está compuesta por dos partes, en la primera (2A) indagábamos los nombres de algunos productos de laboratorio y si se trataba de ácidos o bases, en la segunda parte (2B) se pedía una justificación.

Se incluyeron tres ácidos (HCl, CH₃COOH, H₂CO₃) y tres bases (KOH, CaO, NaH), aunque en algunos cuestionarios varía el estado de agregación, teniendo una primera versión con los compuestos que aparecían en disolución acuosa excepto el CaO y el NaH, y para la versión definitiva quedaron como HCl(g), KOH(s), CaO(s), CH₃COOH(l), NaH(s), H₂CO₃(ac). Cambiamos el estado de agregación de los compuestos para evitar una predestinación de los alumnos a utilizar la teoría ácido-base de Arrhenius por tratarse de compuestos en disolución acuosa.

Aquí esperábamos que las justificaciones se dieran en torno a los siguientes criterios:

- ❖ por la nomenclatura (especialmente en el caso de los ácidos)
- ❖ por la presencia de H o de OH en la fórmula
- ❖ por el uso específico de alguna de las teorías ácido-base. Podrían justificar su respuesta enfocándose más en la teoría ácido-base de Arrhenius o en la de Brønsted-Lowry, sin esperar, salvo para el caso de las bases (CaO, NaH), que hubiera preferencia por ninguna de ellas.

¿Qué es un ácido o una base de acuerdo con la teoría de Arrhenius?

Pregunta 3.A. ¿Cuáles de las siguientes sustancias son ácidos de acuerdo con la teoría de Arrhenius?

Sustancia	Sí / No	¿Por qué?
HCl (ac)		
CO ₂ (ac)		
H ₂ O (l)		

3.B. ¿Cuáles de las siguientes sustancias son bases de acuerdo con la teoría de Arrhenius?

Sustancia	Sí / No	¿Por qué?
KOH (ac)		
NH ₃ (ac)		
CaO (ac)		

En esta pregunta se incluyen tres sustancias con su estado de agregación, de las que se esperaba que los alumnos dijeran si se trataba de ácidos (3A) o de bases (3B) de acuerdo con la teoría de Arrhenius. En esta cuestión intentábamos descubrir cuál es la concepción que tienen los alumnos acerca de la teoría ácido-base de Arrhenius y si es que conocen cuáles son sus limitaciones.

En una primera versión del cuestionario, hay diferencias en los estados de agregación de las sustancias aparecen de la siguiente forma: HCl(g), CO₂(g), H₂O(l), KOH(s), NH₃(g), CaO(s). Pensamos que presentar así los compuestos podía influir en las respuestas de los alumnos, porque para ellos sólo serían ácidos o bases de Arrhenius aquellas sustancias que se encontraran en disolución acuosa. En la versión definitiva del cuestionario cambiamos los estados de agregación y las sustancias aparecían en disolución acuosa.

En la pregunta 3A, se incluían los siguientes compuestos: HCl(ac)/ HCl(g), CO₂(ac)/ CO₂(g) y H₂O(l). De estos tres, únicamente el HCl(ac)/ HCl(g) es considerado un ácido en la teoría de Arrhenius. Esperábamos que los alumnos no supieran que el H₂O(l), de acuerdo con esta teoría, sólo desempeña el papel de disolvente, por lo que ni siquiera se le incluye como una sustancia neutra.

En la pregunta 3B se daba las siguientes sustancias: KOH(ac)/ KOH(s), NH₃(ac)/ NH₃(g) y CaO(ac)/ CaO(s). De éstas, únicamente el KOH(ac) es considerado como una base de acuerdo con la teoría de Arrhenius. Pero hay que destacar que este autor llegó a plantear que el NH₃ en disolución acuosa se encontraba como NH₄OH, de esa forma podía explicar que el NH₃ cuando estaba en disolución se comportaba como una base. En realidad lo que sucede es que el amoníaco se ioniza, obteniéndose así los iones hidróxido en disolución acuosa. En el CaO, lo que ocurre sí es una disociación, pero se obtienen los iones O²⁻ que al reaccionar con el agua dan iones OH⁻. Para Arrhenius los iones no eran considerados ni ácidos ni bases.

En el caso de las dos partes que conforman esta pregunta, nos interesaba además ver la manera específica en que los alumnos proporcionaban una definición de ácidos o bases de Arrhenius, tomando en cuenta cualquier matiz que pudiera distinguir una de otra. Así que

consideraríamos detalles como que "los ácidos en disolución acuosa proporcionan iones H^+ " o que "los ácidos en disolución acuosa se disocian y proporcionan iones H^+ ".

¿Qué es un ácido o una base de acuerdo con la teoría de Brønsted-Lowry?

Pregunta 4.A. ¿Cuáles de las siguientes especies químicas son ácidos de acuerdo con la teoría de Brønsted-Lowry y por qué?

Especie	Sí / No	¿Por qué?
HCl (g)		
HCl (ac)		
H^+ (ac)		
NH_4^+ (ac)		
NH_4Cl (ac)		

4.B. ¿Cuáles de las siguientes especies químicas son bases de acuerdo con la teoría de Brønsted-Lowry y por qué?

Especie	Sí / No	¿Por qué?
NH_3 (g)		
NH_3 (ac)		
NaOH (ac)		
OH^- (ac)		
O^{2-} (ac)		

En esta pregunta incluimos cinco entidades químicas con su estado de agregación, esperando que los alumnos dijeran si se trataba o no de ácidos (4A) o de bases (4B) de acuerdo con la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry. Con esta cuestión, buscábamos saber qué definición tienen los alumnos de los ácidos y bases de Brønsted-Lowry y si sabían cuáles podían ser las limitaciones de esta teoría y sus aportaciones (la inclusión de los iones como ácidos o bases, la ampliación a otros estados de agregación o la de considerar otros disolventes).

En la pregunta 4A también tenemos dos versiones del cuestionario, sólo que la única variación estaba en la sal incluida que en una menor cantidad de cuestionarios aparece en estado sólido. Las entidades químicas incluidas eran: HCl(g), HCl(ac), H^+ (ac), NH_4^+ (ac) y NH_4Cl (ac)/ NH_4Cl (s). De éstas, el ión H^+ no es considerado un ácido de Brønsted-Lowry porque no puede cederse a sí mismo y que en el caso de esta teoría únicamente se considera como especie que se transfiere. Recordemos que T. M. Lowry aporta a esta teoría que el ión H^+ no puede existir como especie

libre en disolución. La otra especie que no es un ácido de Brønsted-Lowry es el NH_4Cl , porque aunque contenga el ión NH_4^+ que es el que sí puede comportarse como ácido de Brønsted-Lowry, la sal completa en sí no lo es.

Para la pregunta 4B proporcionamos los siguientes ejemplos: $\text{NH}_3(\text{g})$, $\text{NH}_3(\text{ac})$, $\text{NaOH}(\text{ac})/\text{NaOH}(\text{s})$, $\text{OH}^-(\text{ac})$ y $\text{O}^{2-}(\text{ac})$. De estas especies, la única que no es una base de Brønsted-Lowry es el NaOH , ya que sucede lo mismo que para el NH_4Cl , que en realidad la especie que es la base de Brønsted-Lowry es el ión OH^- , que sí es capaz de aceptar un protón. Esperábamos que los alumnos no supieran o no tomaran en cuenta que el NaOH no es la base sino sólo el ión; es más, creíamos que ni siquiera tomarían en cuenta que los iones también están incluidos en esta teoría.

¿Por qué los ácidos y las bases son fuertes o débiles?

Pregunta 5.A. Identifica cuáles de los siguientes ácidos son fuertes, cuáles son débiles y explica por qué se consideran fuertes o débiles.

Ácido	Fuerte / Débil	¿Por qué?
$\text{CH}_3\text{COOH}(\text{ac})$		
$\text{H}_2\text{CO}_3(\text{ac})$		
$\text{HNO}_3(\text{ac})$		

5.B. Identifica cuáles de las siguientes bases son fuertes, cuáles son débiles y explica por qué se consideran fuertes o débiles.

Base	Fuerte / Débil	¿Por qué?
$\text{NaOH}(\text{s})$		
$\text{NH}_3(\text{g})$		
$\text{NaH}(\text{s})$		

Queríamos saber si los alumnos podían determinar algunos compuestos como ácidos fuertes o débiles, o bases fuertes o débiles. Pensábamos que las respuestas aludirían sobre todo al uso de la memoria, pero que estarían justificadas con conceptos relacionados con lo aprendido en su curso de ácidos y bases (como el grado de disociación de los compuestos en disolución acuosa). En la parte de los ácidos de esta pregunta quizá los alumnos responderían usando varios argumentos: aplicando la regla de la cantidad de oxígenos presentes en un oxiácido en relación con la cantidad de hidrógenos, haciendo referencia al valor de pH de estos, o incluso que considerando la fuerza del enlace (algunos alumnos pueden tener la concepción alternativa de

que los ácidos fuertes poseen enlaces fuertes y los ácidos débiles enlaces débiles). No esperábamos que dieran su justificación en función de factores energéticos o entrópicos.

Ésta es la última pregunta en la que tenemos diferencias en los estados de agregación de los compuestos, aunque sólo en los ácidos. En una primera versión tenemos los siguientes estados de agregación: $\text{CH}_3\text{COOH}(l)$, $\text{H}_2\text{CO}_3(ac)$ y $\text{HNO}_3(l)$, y una segunda versión todos los compuestos aparecen en disolución acuosa. Para las bases, éstas aparecen así: $\text{NaOH}(s)$, $\text{NH}_3(g)$ y $\text{NaH}(s)$.

Ácidos y bases conjugados.

Pregunta 6. Escribe las fórmulas del ácido o la base conjugada de las siguientes especies químicas:

Especie química	Especie conjugada	¿Es el ácido conjugado o la base conjugada?
HCl		
S^{2-}		
HCO_3^-		
H_3O^+		
OH^-		

En esta pregunta se da una lista de entidades químicas: HCl, S^{2-} , HCO_3^- , H_3O^+ , OH^- , esperando que los alumnos dieran la especie o especies conjugadas correspondientes y que determinaran si estas últimas eran el ácido o la base conjugada de la especie original. Con esta cuestión se intenta averiguar qué tan bien conocen los alumnos el modelo de transferencia de protones entre especies propuesto por Brønsted-Lowry y cómo lo aplican. De las especies propuestas, el HCO_3^- es un anfótero, que se esperaba los alumnos reconocieran como tal y por tanto proporcionarían el ácido y la base conjugados.

¿Por qué son ácidas, básicas o neutras las disoluciones acuosas de estas sales?

Pregunta 7. Predice cuáles de las siguientes disoluciones serán ácidas (A), básicas (B) o neutras (N). Justifica tu respuesta.

Disolución	Ácida / Básica / Neutra	¿Por qué?
NaCl (ac)		
CH_3COONa (ac)		
NH_4Cl (ac)		

Esta pregunta pretendía indagar acerca de la predicción de los estudiantes sobre el carácter ácido, básico o neutro de tres sales en disolución: NaCl(ac) , $\text{CH}_3\text{COONa(ac)}$ y $\text{NH}_4\text{Cl(ac)}$. La primera es neutra, la segunda básica y la tercera ácida.

La predicción del carácter ácido o básico de la disolución de una sal es una etapa clave y cualitativa, previa al cálculo de pH de estas disoluciones. El proceso de razonamiento requiere la disociación previa de las sales en sus iones y la predicción del carácter ácido o básico de estos iones. Para conocer el carácter ácido (fuerte o débil), básico (fuerte o débil) o neutro de estos iones se esperaba que los estudiantes utilizaran diferentes estrategias:

- ❖ En el caso de algún ión, como el Na^+ , pueden saber simplemente que es neutro, es decir, que no reacciona en absoluto con el agua.
- ❖ En general, a partir del conocimiento del carácter ácido o básico fuerte del ácido o base conjugados. Por ejemplo, se sabe que el HCl es un ácido fuerte y se puede deducir que el ión Cl^- será un ión neutro a partir de la siguiente regla: "*La base conjugada de un ácido fuerte es una especie neutra*". Desgraciadamente en el proceso de instrucción escolar, algunos libros de texto y algunos profesores pueden utilizar esta otra regla: "*La base conjugada de un ácido fuerte es una base débil*", que es errónea si se trata de un ácido realmente fuerte.
- ❖ O pueden deducirlo a partir del carácter ácido o básico débil del ácido o la base conjugada. Por ejemplo, si se sabe que el ácido acético es un ácido débil, se puede deducir que el ión acetato será una base débil, a partir de la regla: "*La base conjugada de un ácido débil es también una base débil*". (Que sea más o menos débil que el ácido depende del valor de la constante de acidez del ácido en relación al valor de 10^{-7}). Desdichadamente algunos libros de texto y algunos profesores utilizan este otro enunciado: "*La base conjugada de un ácido débil es una base fuerte*", que es erróneo y puede crear confusión. Esto sería cierto únicamente si el ácido fuera extremadamente débil.

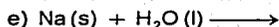
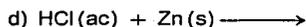
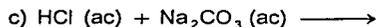
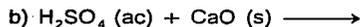
Por ello en esta pregunta teníamos hipótesis contrastadas con experiencias previas (análisis de libros de texto y conversaciones o entrevistas con profesores) sobre cuáles pueden ser las causas de ciertas concepciones erróneas de los estudiantes y lo que pretendíamos era confirmar estas hipótesis.

Por otro lado, esperábamos que muchos estudiantes razonaran la predicción sobre la acidez o basicidad de la disolución de la sal no en función de la acidez o basicidad de los iones que los componen, sino en términos de la reacción de "hidrólisis" que tiene lugar entre la sal y el agua, siguiendo así reglas del estilo de: *"Una sal de un ácido fuerte y de una base débil es ácida"*, que aunque conduce a una predicción correcta no tiene una correlación teórica directa, ya que justamente es ácida no porque el ácido conjugado del que proviene la sal sea fuerte sino porque la base conjugada de la que proviene es débil.

Desgraciadamente esta es la explicación que aparece en algunos libros de texto y probablemente todavía es utilizada por una parte del profesorado. De hecho la reacción de hidrólisis (que significa ruptura por reacción con el agua) es una explicación que únicamente tiene sentido en el marco de la teoría de Arrhenius, para poder explicar la aparición de iones H^+ o OH^- en la disolución de una sal que no contiene ni H ni OH. Por esto, el término hidrólisis no es un término adecuado en el marco de la teoría de Brønsted-Lowry; por ejemplo, el $NH_4Cl(s)$ al disolverse en agua no es que se hidrolice sino que se disocia en iones NH_4^+ y Cl^- , y después el ión NH_4^+ (un ácido de Brønsted-Lowry) reacciona parcialmente con el agua, cediéndole un protón. Pasa lo mismo con el acetato de sodio, que primero se disocia y después el ión acetato capta un protón de una molécula de agua.

¿Cómo identificar una reacción ácido-base?

Pregunta 8. A. Completa e iguala las reacciones siguientes:



8.B. Identifica cuáles de estas reacciones son ácido-base. Justifica tu respuesta.

Reacción	Ácido-base Sí / No	¿Por qué?
a)		
b)		
c)		
d)		
e)		

En esta pregunta primero se presentaban cinco reacciones ácido-base y óxido-reducción, más o menos conocidas por los alumnos, para que ellos las completaran y a partir de ahí pudieran decir si se trataba de reacciones ácido-base o no y por qué.

Aún tratándose de reacciones conocidas por los alumnos, pensábamos que quizá no todos podrían completárlas, aunque por lo menos en las reacciones ácido-base presentes, podrían aplicar el modelo de Brønsted-Lowry de la transferencia de un protón de una especie, el ácido, hacia la otra, la base.

Aunque los alumnos pudieran completar o no las reacciones, pensábamos que podrían utilizar varios modelos para definir cuáles eran reacciones ácido-base. Los modelos utilizados por los estudiantes se verían reflejados en sus justificaciones:

- ❖ Reconocen uno o varios ácidos o bases de entre los reactivos de la reacción
- ❖ Entre los productos resultado de esta reacción hay:
 - NaCl
 - NaCl y agua
 - Una sal
 - Una sal y agua

Lo que se puede considerar como el uso del modelo de Arrhenius para reacciones ácido-base.

- ❖ Se lleva a cabo la transferencia de un protón de uno de los compuestos, que es el ácido, al otro, que es la base. Aquí ya podríamos ver que los alumnos aplican el modelo de transferencia protónica entre ácidos y bases propuesto por Brønsted-Lowry.

Para la primera reacción considerábamos que quizá los alumnos la reconocieran por ser uno de los clásicos ejemplos como reacción de neutralización, así que sería probable que la identificaran como tal. Para la tercera reacción esperábamos dos tipos de respuesta, que unos alumnos hicieran la transferencia protónica entre los reactivos o que utilizaran el modelo de las reacciones ácido-base que incluyen carbonatos, en que se produce una sal, dióxido de carbono y agua.

Relación entre los procesos cotidianos y los conceptos ácido-base.

Pregunta 9A. La sal de uvas contiene bicarbonato de sodio (hidrogenocarbonato) y una pequeña cantidad de ácido cítrico (R-COOH).

- ¿A qué es debida la efervescencia al disolverla en agua?
- Describe qué reacción tiene lugar.

9B. El "royal" (levadura química) contiene ácido tartárico (R-COOH) y bicarbonato de sodio.

¿A qué se debe que "suba" la masa de un pastel cuando se pone al horno?

9C. ¿Qué sustancias crees que contienen las pastillas de aspirina efervescente?

Para terminar este cuestionario, decidimos indagar una vez más la parte Química-Tecnología-Sociedad del tema ácido-base, preguntando sobre lo que ocurre en distintos hechos de la vida cotidiana y saber así qué tan buena relación establecen los alumnos entre lo que aprenden y su vida.

La pregunta estaba dividida en tres partes que incluían conceptos relacionados con reacciones ácido-base:

9A. ¿A qué se debe la reacción de efervescencia de la sal de uvas?

9B. ¿A qué se debe que "suba" la masa de un pastel que contiene "Royal" (levadura química)?

9C. ¿Qué sustancias contienen las pastillas de aspirina efervescente?

En esta cuestión, pensábamos que tendríamos dos tipos de respuestas para las primeras dos partes. Un primer tipo de respuesta sería que los alumnos dijeran que se produce un gas en la

reacción (sin especificar de cuál se trata) y el otro que dijeran que se produce dióxido de carbono. En el inciso 9C de esta pregunta quizá los alumnos contestarían considerando los dos incisos anteriores, esperando que dijeran en el menor de los casos que contienen un ácido y una base. Si obtuviéramos una respuesta más específica aclararían la presencia de algún carbonato entre los componentes o hasta podrían especificar que contienen una pequeña cantidad de bicarbonato de sodio y ácido acetilsalicílico.

Muestra

Para la investigación contamos con la ayuda de profesores y profesoras de siete Institutos (Institut d'Ensenyament Secundari) de Cataluña, España; en los que la versión en catalán del cuestionario fue pasado a un grupo de segundo año de bachillerato (17-18 años). Cada grupo tenía cantidades muy dispares de alumnos, pero en total logramos disponer de un total de 114 cuestionarios, de los cuales 8 fueron empleados para probarlos. Consideramos que estos ocho cuestionarios de prueba podían incluirse en el estudio porque los cambios introducidos no fueron muy significativos, y de todas formas tomaríamos en cuenta estos cambios para el análisis. En la tabla siguiente presentamos la relación de las escuelas encuestadas, el número de alumnos por cada instituto y la fecha en que pasamos dicho cuestionario:

Institut d'Ensenyament Secundari	No. de alumnos	Fecha
Barcelona Congrés (Barcelona)	8	11/04/2002 15/04/2002
Apel·les Mestres (Hospitalet)	34	23/04/2002
Menéndez Pelayo (Barcelona)	11	26/04/2002
Jaume Callis (Vic)	19	29/04/2002
Guindavols (Lérida)	8	2/05/2002
Josep de Calassanç (Barcelona)	18	10/05/2002
Lluís de Peguera (Manresa)	16	8/05/2002
Total de alumnos	114	

8. ANÁLISIS DE LAS RESPUESTAS

El análisis de los cuestionarios es un tema difícil ya que se necesita utilizar una técnica de análisis que nos permita representar de una forma sencilla y comprensible todas las respuestas con las que los alumnos justificaban su elección, sin perder información. Hacer una lista con citas de todas las respuestas dadas haría muy compleja la representación, a su vez larga y tediosa. Con la idea de encontrar una técnica para hacer el análisis cualitativo de datos, Bliss *et al.* (1983) proponen un sistema que “trabaja con categorías definidas, pero intenta elaborar esas categorías hasta el punto en que la mayoría de la esencia de los datos se conserve y represente.”

Las **redes sistémicas**, que es el nombre del sistema propuesto por Bliss *et al.* (1983), se deriva de la lingüística sistémica. Este método de análisis basa su estrategia en ir encontrando la relación entre respuestas para clasificarlas en diferentes categorías. Cada una de las categorías que se establecen representan aquellas características que esas respuestas tienen en común y que se desea destacar. La red sistémica se forma cuando esas primeras categorías se agrupan de acuerdo con otros rasgos comunes, repitiéndose este proceso de formar asociaciones entre categorías. El fin de construir estas redes está en que representen, de la mejor manera, aquello que parece importante destacar en la investigación sobre los datos obtenidos; por eso dependerá del enfoque que el investigador quiera darle.

Las redes sistémicas se caracterizan por tener una sola categoría grande y general, que se dividirá en más categorías pequeñas y exclusivas. Este trabajo que parece sencillo, no lo es del todo, porque partiendo de un mismo listado de datos nos puede llevar a la elaboración de redes sistémicas diferentes, cuyas diferencias estribarán en las características que se deseaba destacar en cada análisis.

Una de las desventajas de este método de análisis está en que la red construida dependerá de los intereses del investigador y de sus esquemas conceptuales, ya que el establecimiento de categorías es, en cierta manera, la forma en que el investigador describe las respuestas de los alumnos. Es importante que en el proceso de catalogación, el investigador, intente mantener una postura lo más objetiva posible.

En nuestro trabajo, hemos tenido que englobar muchas respuestas que hacían referencia al mismo fenómeno, pero que empleaban términos diferentes, intentando respetar, lo mejor posible, las respuestas de los alumnos. Casi cada una de las preguntas del cuestionario fue tratada de

forma diferente para hacer la recolección de los datos, porque en cada una deseábamos indagar aspectos distintos.

Tratamiento general de las respuestas

A continuación presentamos un pequeño resumen de cómo se analizó cada una de las preguntas.

Pregunta 1. Productos domésticos. Hicimos la recolección de los datos para cada producto doméstico por separado.

Pregunta 2. Compuestos que son ácidos o bases. Construimos definiciones más globales para aquellos compuestos que el alumno decía que eran ácidos y aparte para los que decía eran bases.

Pregunta 3. Compuestos que son ácidos o bases según la teoría ácido-base de Arrhenius. Aquí también construimos definiciones globales, con lo que el alumno contestaba para los ácidos separados de las bases, de acuerdo con la teoría de Arrhenius; además obtuvimos las respuestas para cada compuesto por separado.

Pregunta 4. Entidades químicas que son ácidos o bases de acuerdo con la teoría de Brønsted-Lowry. Construimos las definiciones globales con lo que el alumno responde para los ácidos y las bases por separado, según la teoría de Brønsted-Lowry; también sacamos las respuestas de cada entidad química por separado.

Pregunta 5. Ácidos y bases fuertes y débiles. Englobamos las respuestas para obtener aquello que los alumnos consideran caracteriza a los ácidos fuertes, ácidos débiles, bases fuertes y bases débiles por separado.

Pregunta 6. Especies conjugadas. Aquí sacamos dos tipos de respuestas: cómo es que los alumnos obtienen la especie conjugada (o alguna otra respuesta dada) y que caracteriza al ácido conjugado (en relación con su base) y a la base conjugada (en relación con su ácido) por separado.

Pregunta 7. Identificación como ácidas, básicas o neutras las disoluciones de ciertas sales. Recolectamos las respuestas de cada sustancia por separado, poniendo aparte las respuestas que justifican que las disoluciones sean ácidas, básicas o neutras.

Pregunta 8. Identificación de las reacciones ácido-base. Hicimos la recolección de las respuestas para tener un enunciado global acerca de las características que tienen las reacciones ácido-base para cada alumno.

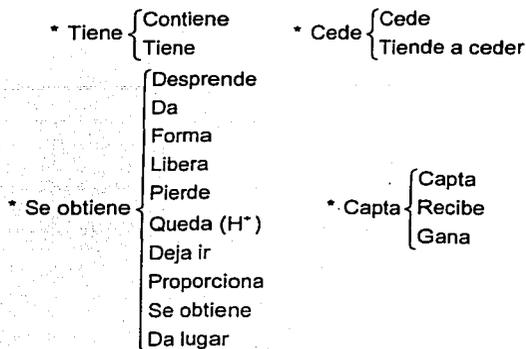
Pregunta 9. Fenómenos de la vida cotidiana. Recogimos por separado las respuestas de cada inciso de esta pregunta. En las dos primeras partes buscábamos en las respuestas los elementos que pudieran ser característicos de la efervescencia y del aumento en el volumen de la masa del pastel. De la última parte obtuvimos los compuestos o tipos de compuestos que los alumnos creen puede contener la aspirina efervescente.

Construcción de las redes sistémicas

El trabajo de construcción de las redes sistémicas puede ser un proceso largo, porque es necesario revisarlas hasta lograr que reflejen aquella información destacable. Como ya lo hemos dicho, a partir de los datos recogidos se pueden obtener varias redes sistémicas si se emplean criterios distintos de categorización.

El primer paso que es necesario llevar a cabo, es la recolección de los datos, que en nuestro trabajo estaba formado por los enunciados dados por los alumnos, que como ya mencionamos, algunos consistían en una respuesta global que construimos a partir de las múltiples respuestas dadas por el alumno.

Al englobar las respuestas hubo casos en que de todas seguíamos teniendo enunciados diferentes que en muchos casos querían decir lo mismo, así que lo que hicimos para tratar de conservar la misma estructura, fue detectar aquellas palabras que podían ser sinónimos intentando conservar el significado de la frase. Hicimos la agrupación de las respuestas utilizando sinónimos, sobre todo, en aquellas preguntas en las que obteníamos una definición, como puede ser la de los ácidos y las bases de Arrhenius; utilizando los siguientes criterios:



Hay que aclarar que ésta no fue una regla general que se pudiera aplicar en todas las respuestas, ya que especialmente en las diferentes definiciones para ácidos y para bases consideramos que la palabra "ceder" es un término delicado. Esta palabra, a pesar de ser empleada dentro del marco de la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry, hubo casos en que de acuerdo con el contexto se podía identificar con la teoría de Arrhenius o con la de Brønsted-Lowry. Cuando la respuesta dada hacía pensar que los iones eran "cedidos" o dados a la disolución, decidimos decantar más el enunciado hacia la teoría de Arrhenius (sustituyendo el término "ceder" por "se obtienen iones..."). Conservamos la palabra "ceder", cuando quedaba patente que los iones eran "cedidos" a otra especie, ya fuera porque el enunciado lo decía o porque la respuesta tuviera como complemento la ecuación química cuyo modelo general es:

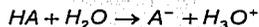


considerando que la frase pertenecía al contexto de la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry.

Otro dato a tomar en cuenta para la categorización de respuestas fue que los cuestionarios en que teníamos reacciones como:



podíamos esquematizarlas empleando la ecuación química general que se utiliza para representar a los ácidos conjugados:



Hay que aclarar que no pudimos englobar todas las respuestas que daban los alumnos por falta de compatibilidad (no obteníamos la misma respuesta para justificar como bases al KOH que al

CaO), entonces se asumió una definición formada por partes distintas que así se integraron dentro de la red. En la red de una misma pregunta podemos tener respuestas distintas que estarán relacionadas con los diferentes incisos que la conforman.

Construimos las redes partiendo de todos los enunciados obtenidos de las respuestas de los alumnos, que fuimos clasificando desde categorías más específicas y finas hasta obtener categorías cada vez más generales.

Otra cosa a considerar de las redes es que los porcentajes de cada una de las clasificaciones no siempre representan la suma de sus componentes. En una versión completa de las redes, incluimos y clasificamos todas las respuestas, pero por el tamaño de la red completa decidimos hacer una reducción. En la reducción de las redes eliminamos las justificaciones que eran dadas por un solo alumno, pero las dejamos incluidas en la contabilidad del total de respuestas para esa categoría. Hay casos en que obtuvimos tres respuestas que eliminamos, así que incluimos una categoría nueva llamada *otras respuestas*, sin especificar qué decían estas. Los porcentajes de respuestas los hicimos considerando que el total de cuestionarios que teníamos es 114.

Es importante resaltar que el símbolo \odot , que aparece en las redes sistémicas, hace referencia a aquellas respuestas recurrentes; es decir, que hay alumnos que dan más de una respuesta por pregunta.

A continuación presentaremos el análisis de las respuestas dadas a cada pregunta por separado.

Análisis de las respuestas

Nos ha parecido importante hacer el análisis de las respuestas a cada una de las preguntas considerando los siguientes aspectos:

1. Un análisis sobre las respuestas dadas por los alumnos a las preguntas cerradas. Lo haremos mediante la presentación de un diagrama de barras y también centrándonos en los aspectos que pensamos es importante destacar para cada cuestión.
2. El análisis de las redes sistémicas, que dividiremos de la siguiente manera:
 - ❖ Presentaremos el esquema de clasificación que decidimos utilizar en cada pregunta para la construcción de la red.
 - ❖ Discutiremos lo que podemos inferir de cada una de las categorías presentes en la red.

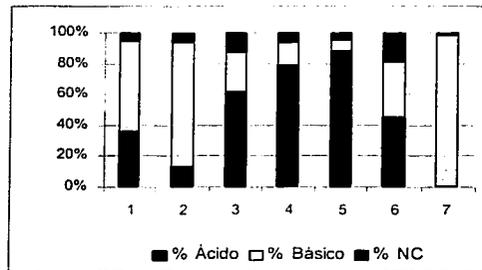
- ❖ **Obtendremos una conclusión sobre las respuestas obtenidas para cada una de las preguntas, considerando: las hipótesis presentadas en este mismo trabajo, la relación que pueden tener los hallazgos para cada respuesta y el análisis hecho en los libros de texto, las posibles causas de algunas de estas respuestas.**

Pregunta 1. ¿Por qué son ácidos o básicos los siguientes productos domésticos?

En la tabla 1 y en la gráfica 1 mostramos el porcentaje de respuestas (ácido, básico, NC) que los estudiantes han dado sobre los productos citados en la primera pregunta.

	%Ácido	%Básico	% NC
Blanqueador	36.0	58.8	5.3
Sal de uvas	13.2	80.7	6.1
Ácido muriático	61.4	26.3	12.3
Aspirina	78.9	14.9	6.1
Vinagre	88.6	7.0	4.4
Limpia hornos	45.6	36.0	18.4
Pastillas antiácidas	0.9	97.4	1.8

Tabla 1. Porcentajes de las respuestas dadas por los alumnos al carácter ácido-básico de los productos domésticos. Las respuestas consideradas correctas están en negrita.



1. Blanqueador(lejía)
2. Sal de uvas (sal de frutas)
3. Ácido muriático (sulfumán)
4. Aspirina
5. Vinagre
6. Limpiador de hornos
7. Pastillas antiácidas

Gráfica 1. Carácter ácido-básico de los productos domésticos

Llama la atención que, salvo en las respuestas de las pastillas antiácidas y quizá el vinagre, los alumnos conocen poco el carácter ácido o básico de una serie de productos domésticos. Por los resultados de esta gráfica, podríamos decir que los tres productos de los que los estudiantes conocen menos su carácter ácido-básico son: el limpiador de hornos, el blanqueador (lejía), y el ácido muriático (sulfumán).

Blanqueador

Podemos concluir de los resultados de la tabla 1 y la gráfica 1 que más de una tercera parte (36%) de los estudiantes no conocen cuál es el carácter ácido-básico del blanqueador y es posible que muchos de ellos adivinen esta respuesta.

Sal de uvas

De los porcentajes de las respuestas que determinan el carácter ácido-básico de la sal de uvas, deducimos que los alumnos conocen mejor el carácter básico de este producto (80.7%) que para el caso del blanqueador. Además quizá en sus casas lo han visto y saben para qué se utiliza.

Ácido muriático

El carácter ácido del ácido muriático (denominado sulfamán en España) es reconocido por el 61.4 % de los estudiantes. De los productos que hemos visto hasta ahora, al ácido muriático es el primero que muestra un porcentaje apreciable de estudiantes que no contestan cuando se les pregunta por su carácter ácido-básico. Es importante recordar que en España se llama "sulfamán" (sulfumant en catalán), lo que no da ningún indicio de que se trata de una disolución de ácido clorhídrico.

Aspirina

Las respuestas dadas en el caso de la aspirina, muestran que los alumnos (78.9%) conocen mejor la naturaleza ácida de este producto y quizá hasta saben que contiene ácido acetilsalicílico, y por ende que es un producto ácido; sin embargo es sorprendente que un 14.9% de los alumnos piensen que es básico.

Vinagre

El vinagre es uno de los productos domésticos que podemos considerar que la mayoría de los alumnos (88.6%) conocen su carácter ácido-básico, porque está mucho más presente en su vida diaria y además conocen una de sus propiedades características, su sabor.

Limpiador de hornos

El limpiador de hornos es uno de los productos domésticos del que los alumnos tienen menos idea de su carácter ácido o básico (36.0%). Destaca especialmente el alto porcentaje de cuestionarios en los que no contestan (18.4%).

Pastillas antiácidas

Como ya hemos dicho, las pastillas antiácidas es el producto en el que los alumnos dieron más respuestas correctas (97.4%). Incluso llama la atención el bajo porcentaje de alumnos que no

contestan (1.8%) al carácter ácido-básico de este producto, ya que en todos los productos anteriores no hubo tal consenso en las respuestas. La razón de ello probablemente está en que en este producto, a pesar que los alumnos quizá no sepan para qué se utiliza, el nombre es un buen indicativo de cuál es la respuesta correcta.

Como hemos mencionado antes, hicimos una red para cada uno de los productos domésticos de la pregunta 1. En estas redes incluimos las respuestas dadas por los alumnos, tanto si su respuesta justificaba que el producto fuera ácido como si decían que era básico. Las respuestas las clasificamos de acuerdo con el siguiente esquema:

- Conceptual — | — Tiene
- | — Reacción
- | — Valor de pH
- Conocimiento del carácter ácido-básico de la sustancia
- Propiedades — | — características de ácidos/bases
- | — no características de ácidos/bases
- Otras respuestas

En la categoría de *conceptual* incluimos las respuestas de los alumnos cuyos fundamentos se relacionan con lo aprendido en clase respecto a los ácidos o las bases. Las respuestas dadas por los alumnos incluidas en esta categoría pueden ser que "los ácidos contienen iones H^+ "; los estudiantes saben que los ácidos contienen estos iones, aunque no lleguen a saber qué sustancia posee el producto doméstico del que se les pregunta y por ende no sepan si es cierto que contiene iones hidrógeno. Esta categoría a su vez está dividida en *tiene*, *reacción* y *valor de pH*; en la categoría *tiene*, incluimos respuestas como la que acabamos de indicar. En *reacción* incluimos las respuestas de los alumnos que justifican con una reacción el carácter ácido-básico de ese producto.

Quando nos referimos al *carácter ácido-básico de la sustancia*, incluimos las respuestas en que los alumnos conocen el componente principal del producto cotidiano. Dentro de la categoría de las *propiedades*, encontramos dos categorías más, porque las justificaciones dadas por los alumnos incluían algunas propiedades que se consideran como características de los ácidos y otras que no lo son. Hemos hecho lo mismo en el caso de los productos básicos. Por último, en *otras respuestas* incluimos todas las justificaciones que daban los alumnos que no podíamos incluir en ninguna de las otras categorías porque eran incoherentes, como lo puede ser que

respondan "comprobado con el papel indicador", sin especificar siquiera qué color se obtiene en el papel indicador.

Blanqueador

Ya hemos visto en el análisis de la pregunta sobre el carácter ácido o básico del blanqueador, que la diferencia de porcentajes entre los alumnos que dicen que el producto es ácido y los que dicen que es básico es del 22.8%. Llama la atención que sólo el 58.8% de los alumnos justifican su respuesta.

Revisando las respuestas dadas para justificar que **el blanqueador es un producto ácido**, vemos que el mayor porcentaje de justificaciones se concentra en las **propiedades** (17.5%) . Como ya habíamos visto en las concepciones alternativas descritas en la literatura didáctica, los alumnos consideran que los ácidos son corrosivos, queman, son limpiadores, tienen un olor característico. Las siguientes justificaciones a destacar se centran en las respuestas que clasificamos como **conceptuales** (6.1%), a pesar que únicamente reflejan que los alumnos son capaces de asociar algunas características de los ácidos como el valor del pH o que poseen iones hidrógeno.

Las respuestas que justifican que **el blanqueador es básico** (36.0%), no superan por mucho el porcentaje de las que dicen que es ácido (30.7%). Las justificaciones respecto al carácter básico del blanqueador se concentran sobre todo en la parte **conceptual** (21.9%), obteniendo un mayor porcentaje de respuestas que hacen referencia a la reacción del ión hipoclorito con el agua. Esta reacción da la justificación más precisa al carácter ligeramente básico de este producto, aunque el porcentaje de respuestas de este tipo es únicamente del 7.0%.

Sal de uvas

En las justificaciones recogidas de los cuestionarios, vemos que una mayoría de respuestas apoya que este sea un producto básico (58.0%), a diferencia de cuando se les pregunta cuál es su carácter ácido-básico (80.7%). Lo que sí sucede es que aumenta el porcentaje de alumnos que no dan una justificación a la respuesta a 37.8%.

El 7.9% de las respuestas se inclinan por la sal de uvas como un **producto ácido** y sobre todo en la sustancia que posee este producto (4.4%). La mayoría de los alumnos dicen que el componente principal de la sal de uvas es el ácido cítrico (3.5%), quizá porque este dato estaba incluido en la última pregunta del cuestionario.

Un 58.8% de respuestas dan una justificación sobre el **carácter básico** de la sal de uvas. El porcentaje más alto lo encontramos en la categoría de **propiedades** (44.7%) y especialmente haciendo referencia a que la sal de uvas es un producto que neutraliza (40.4%): los ácidos, la acidez estomacal o es un antiácido. Vemos que estas respuestas se concentran más en la utilidad del producto. Hemos hecho la distinción entre varios tipos de neutralización porque deseamos destacar que algunos alumnos consideran que este es un producto que neutraliza los ácidos de forma general o simplemente declaran que neutralizaba sin decir qué.

Encontramos que para la sal de uvas, la mayoría de las respuestas se basan en la **utilidad del producto**, más que en el componente principal. Podríamos decir que los alumnos conocen bien este producto y su utilidad.

Ácido Muriático (sulfamán)

Lo primero que podemos decir respecto a las respuestas a esta pregunta, es que probablemente los alumnos no lo conocen bien, ya que solamente justifican su respuesta un 50.0% de ellos. De estas justificaciones, el 43.9% se inclinan porque el sulfamán es ácido y sólo el 14.0% porque es básico. En las justificaciones que dan los alumnos para aclarar por qué creen que el sulfamán es **básico** no encontramos ningún caso que llame especialmente la atención, salvo el 1.8% de las respuestas que dicen que es una sal. Hemos atribuido esta respuesta a que el nombre puede sugerirlo, sin embargo la incluimos en respuestas incoherentes porque no pensamos que sea una explicación que señale el carácter básico del ácido muriático.

Considerando las respuestas dadas al por qué del **carácter ácido**, notamos que la mayor parte de las respuestas se centran en las **propiedades** (20.2%). Entre estas características destacadas por los alumnos, están: es tóxico, es corrosivo, tiene olor fuerte. Como ya habíamos

visto en la literatura didáctica, éstas son concepciones comunes entre los estudiantes respecto a las características de los ácidos.

Si centramos nuestra atención en el conocimiento de la sustancia que contiene este producto doméstico, encontramos que entre las respuestas, la que más veces estuvo presente fue la del ácido clorhídrico (7.0%), sin embargo no está muy lejos en proporción de aquella que dice que contiene ácido sulfúrico (5.3%).

Estos resultados dejan ver que el sulfamán, no es un producto muy conocido por los alumnos; es probable que en sus respuestas opten por afirmar que es ácido porque saben que es tóxico y corrosivo que son las características que ellos atribuyen directamente a las sustancias ácidas.

Aspirina

La aspirina es un producto muy conocido por los alumnos porque están en contacto con ella constantemente. A pesar de la importancia que puede desempeñar, hay que destacar que sólo el 50.0% de las respuestas dadas por los alumnos sobre su **naturaleza ácida** hacia alusión a su principio activo; aunque es cierto que quizá les resulte difícil recordar el nombre del ácido acetilsalicílico. En el caso de este fármaco era más sencillo pensar que las respuestas dadas por los estudiantes se concentrarían en el componente principal, aunque quizá en clase hayan podido haber hecho alguna prueba que les permita recordar que se trata de un producto ácido.

Como podemos ver, las justificaciones obtenidas sobre el **carácter básico** de la aspirina fueron muy dispares. Las propiedades que algunos de los alumnos atribuyeron a la aspirina para justificar su basicidad, giraban en torno a que es un producto no nocivo o no tóxico para el organismo y por eso es básico.

Vinagre

Aunque el vinagre es uno de los dos productos presentes en esta pregunta que podríamos suponer es el mejor conocido por los alumnos, sólo obtuvimos un 57.0% de respuestas que justificaban su **carácter ácido**. Las justificaciones de los estudiantes se concentraron

especialmente en decir que **contiene** ácido acético (35.1%) y llama la atención que únicamente un 7.9 % hagan referencia al sabor ácido característico del vinagre.

Es posible que, los alumnos hayan tenido dificultades para dar una justificación que demostrara sus conocimientos sobre el tema ácido-base como consecuencia de no conocer que el vinagre contiene ácido acético y eso haya hecho que disminuya tanto el porcentaje de respuestas que demuestren el carácter ácido de este producto.

Limpiador de hornos

Dado los resultados obtenidos sobre el carácter ácido-básico del limpiador de hornos, pensamos que los alumnos, aunque quizá hayan estado en contacto con este producto no saben qué es lo que contiene. Obtuvimos casi la misma cantidad de respuestas que justifican que se trata de un producto ácido (22.8%) como de que es básico (21.1%). Además estas respuestas, en los dos casos, se centran en que se trata de un limpiador que disuelve o que "acaba" con la grasa, que es una propiedad que le atribuyen tanto a los productos ácidos (12.3%) como a los básicos (9.7%).

Pastillas antiácidas

Resulta casi evidente, que el adjetivo "antiácidas" en el nombre de este producto es un factor determinante para las respuestas obtenidas, tanto para la pregunta cerrada como para la abierta. En la pregunta abierta, vemos que los alumnos dirigen todas sus respuestas a hablar de la neutralización que provoca este producto (64.0%). Es posible que algunos de los alumnos ni siquiera sepan que las pastillas antiácidas se utilizan para contrarrestar la acidez estomacal y, por eso, únicamente especifican que neutraliza los ácidos (21.1%), sin decir de cuáles ácidos se trata. Al analizar las respuestas dadas a esta pregunta, encontramos que para la mayoría de los estudiantes un antiácido tiene que ser una sustancia "contraria" a los ácidos, es decir, básica.

PREGUNTA 1.¿QUÉ CARÁCTER ÁCIDO-BASE TIENE EL BLANQUEADOR Y POR QUÉ?

N=114

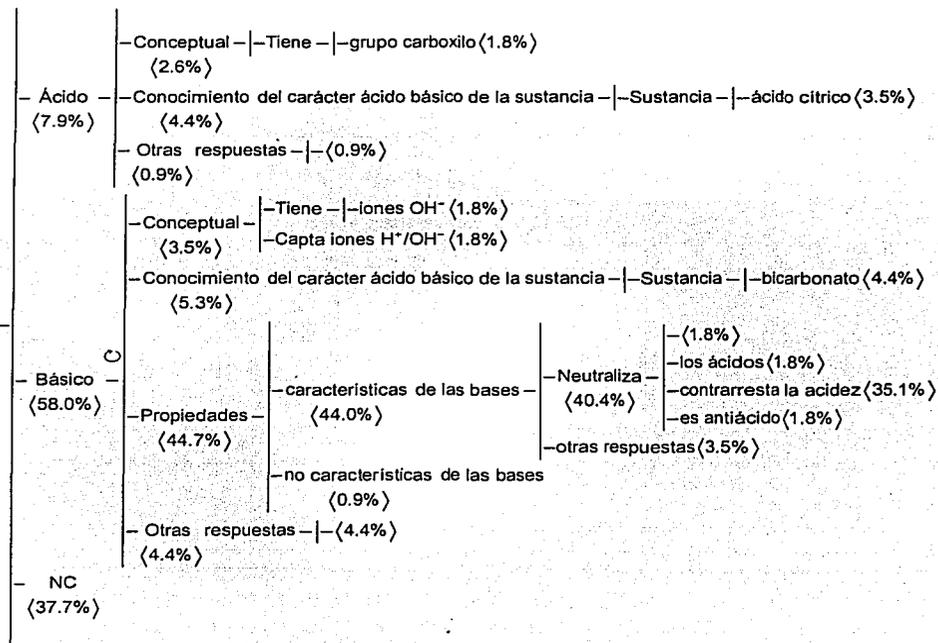
CONTESTAN=58.8%

Acido (30.7%)	Conceptual (6.1%)	Tiene	iones H ⁺ (1.8%)
			concentración elevada de iones H ⁺ (1.8%)
		Valor de pH	pH < 7 (1.8%)
			(1.8%)
	Conocimiento del carácter ácido básico de la sustancia	Sustancia	HCl (2.6%)
			(2.6%)
Básico (36.0%)	Conceptual (21.9%)	Reacción	ClO ⁻ + H ₂ O → HClO + OH ⁻ (7.0%)
			otras respuestas (1.8%)
		Valor de pH	pH > 7 (4.4%)
			(4.4%)
	Conocimiento del carácter ácido básico de la sustancia	Sustancia	hipoclorito de sodio (1.8%)
			(2.6%)
NC (41.3%)	Propiedades (5.3%)	características de las bases	(4.4%)
		no características de las bases	limpiador (0.9%)
			(0.9%)
		Otras respuestas	(6.1%)
			(6.1%)

PREGUNTA 1. ¿QUÉ CARÁCTER ÁCIDO-BASE TIENE LA SAL DE UVAS Y POR QUÉ?

N=114

CONTESTAN=62.3%



PREGUNTA 1. ¿QUÉ CARÁCTER ÁCIDO-BASE TIENE EL ÁCIDO MURIÁTICO Y POR QUÉ?

N=114

CONTESTAN=50.0%

Ácido (44.0%)	Conceptual (7.0%)	<ul style="list-style-type: none"> Tiene iones H^+ (2.6%) (2.6%) Otras respuestas (4.4%)
	Conocimiento del carácter ácido básico de la sustancia (14.9%)	<ul style="list-style-type: none"> Sustancia <ul style="list-style-type: none"> H_2SO_4 (5.3%) HCl (7.0%) HNO_3 (1.8%)
	Propiedades (20.2%)	<ul style="list-style-type: none"> características de los ácidos (14.9%) <ul style="list-style-type: none"> desinfecta (1.8%) tóxico (2.6%) corrosivo (6.1%) otras respuestas (4.4%) no características de los ácidos (5.3%) <ul style="list-style-type: none"> limpiador (2.6%) olor fuerte (2.6%)
	Otras respuestas (1.8%)	<ul style="list-style-type: none"> (1.8%)
	Conceptual (5.3%)	<ul style="list-style-type: none"> Valor de pH pH alto (2.6%) Otras respuestas (2.6%)
Básico (14.0%)	Conocimiento del carácter ácido básico de la sustancia (0.9%)	
	Propiedades (2.6%)	<ul style="list-style-type: none"> no características de las bases <ul style="list-style-type: none"> limpiador (1.8%)
NC (50.0%)	Respuestas incoherentes (5.3%)	<ul style="list-style-type: none"> contiene HCl (1.8%) es una sal (1.8%) otras respuestas (1.8%)

PREGUNTA 1. ¿QUÉ CARÁCTER ÁCIDO-BASE TIENE EL VINAGRE Y POR QUÉ?

N=114

CONTESTAN=57.0%

- Ácido - (57.0%)	C	- Conceptual -	- Tiene	(1.8%)	
			- otras respuestas	(1.8%)	
		- Conocimiento del carácter ácido básico de la sustancia -	- Sustancia -	- ácido acético	(35.1%)
		(38.0%)			
- Básico - (2.6%)	C	- Propiedades -	- características de los ácidos -	- sabor ácido	(7.9%)
			(12.3%)	- otras respuestas	(4.4%)
		- no características de los ácidos	(2.6%)		
		- Otras respuestas	(2.6%)		
- NC (43.0%)	C	- Conceptual -	- Reacción -	- capta iones OH^-	(0.9%)
			(0.9%)		
		- Propiedades -	- características de las bases -	- gusto amargo	(0.9%)
		(1.8%)	- no características de las bases -	- ingerible	(0.9%)

PREGUNTA 1. ¿QUÉ CARÁCTER ÁCIDO-BASE TIENE EL LIMPIADOR DE HORNOS Y POR QUÉ?

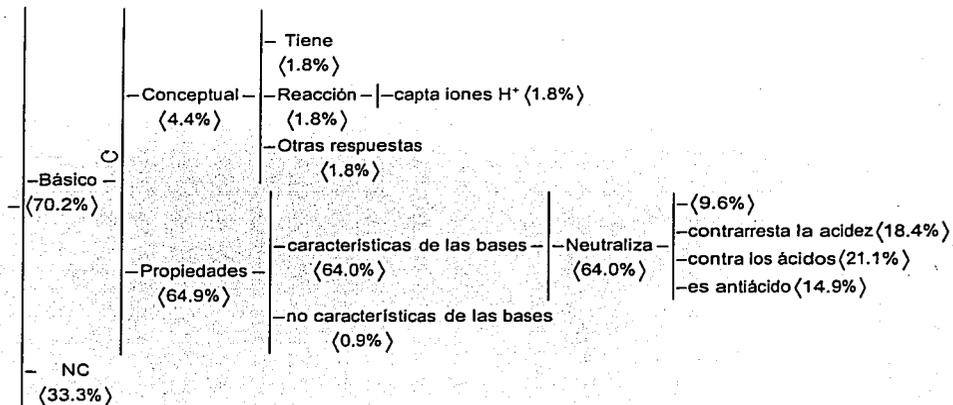
N=114
CONTESTAN=43.0%

	- Conceptual (0.9%)		
	- Conocimiento del carácter ácido básico de la sustancia (0.9%)		
- Ácido (22.8%)	- Propiedades (14.0%)	- características de los ácidos (15.8%)	- disuelve la grasa (1.8%) - limpiador (10.5%) - otras respuestas (1.8%)
	- Otras respuestas (2.6%)	- no características de los ácidos (2.6%)	
	- Conceptual (1.8%)		
	- Conocimiento del carácter ácido básico de la sustancia (2.6%)	- Sustancia	- KOH (1.8%)
- Básico (21.1%)	- Propiedades (15.8%)	- características de las bases (13.2%)	- saponifica (4.4%) - disuelven las grasas (5.3%) - otras respuestas (3.5%)
	- Otras respuestas (0.9%)	- no características de las bases (2.6%)	- no ataca el metal (2.6%)
- NC (49.1%)			

PREGUNTA 1. ¿QUÉ CARÁCTER ÁCIDO-BASE TIENEN LAS PASTILLAS ANTIÁCIDAS Y POR QUÉ?

N=114

CONTESTAN=66.7%

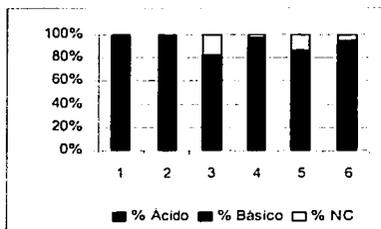


Pregunta 2 ¿Por qué son ácidos o bases estos productos de laboratorio?

En la tabla 2 y en la gráfica 2A mostramos los porcentajes de respuestas: ácido, básico y no contestan para los compuestos de esta pregunta y en la gráfica 2B los porcentajes de respuestas correctas al nombrar esos compuestos.

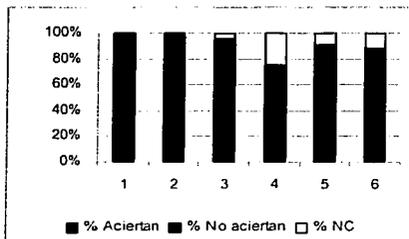
	%Ácido	%Básico	%NC
HCl(g)/(ac)	96.5	2.6	0.9
KOH(s)/(ac)	5.3	94.7	0.0
CaO(s)/(ac)	9.6	72.8	17.5
CH ₃ COOH(l)/(ac)	88.6	9.6	1.8
NaH(s)/(ac)	38.6	48.2	13.2
H ₂ CO ₃ (ac)	90.4	4.4	5.3

Tabla 2. Porcentajes de respuestas sobre el carácter ácido-base de algunos productos de laboratorio. Las respuestas consideradas correctas están en negrita.



1. HCl(g)/(ac)
2. KOH(s)/(ac)
3. CaO(s)/(ac)
4. CH₃COOH(l)/(ac)
5. NaH(s)/(ac)
6. H₂CO₃(ac)

Gráfica 2A. Carácter ácido-base de ciertos compuestos



- | | |
|--|----------------------------------|
| 1. Ácido clorhídrico/ cloruro de hidrógeno | 4. Ácido etanoico/ ácido acético |
| 2. Hidróxido de potasio | 5. Hidruro de sodio |
| 3. Óxido de calcio/ monóxido de calcio | 6. Ácido carbónico |

Gráfica 2B. Porcentaje de respuestas correctas al nombrar los productos de laboratorio

Al pie de la gráfica 2B está la lista de nombres que utilizamos para determinar el porcentaje de aciertos de los alumnos al nombrar los compuestos de esta pregunta, tomamos en cuenta respuestas como "ácido clorhídrico" para el cloruro de hidrógeno, ya que es posible que algunos alumnos no sepan que tiene nombres diferentes dependiendo de si está o no en disolución acuosa, o que simplemente decidieron ignorar que en la pregunta aparecía en estado gaseoso.

Como dato curioso, el 3.5% de los alumnos deciden llamar ácido sodico al NaH y de esta forma es más fácil justificar que es un compuesto ácido (38.6%). Revisando los resultados de las dos gráficas podemos decir que casi la mitad de los alumnos (48.2%) alcanzan a determinar que el hidruro de sodio es un compuesto básico, a pesar de que el nombre no da ningún indicio de su naturaleza ácido-base.

Hay más estudiantes que consideran que el ácido acético es un compuesto ácido (88.6%) de los que saben nombrarlo (64.0%), quizá será porque reconocen su fórmula. Y para el ácido carbónico, a pesar que el 20.2% de los alumnos no lo nombran correctamente, creemos que aciertan identificándolo (90.4%) como un compuesto ácido por la fórmula que tiene.

El objetivo principal de preguntar a los alumnos el nombre del compuesto, era que les ayudaría a determinar su carácter ácido-base. Si hacemos una comparación entre los resultados de las dos gráficas, podemos inferir que es cierto que el nombre puede ayudarles a determinar si un compuesto es un ácido; sin embargo, no sucede lo mismo con las bases.

Como ya hemos dicho, para tener una cantidad más manejable de datos, englobamos las respuestas obtenidas considerando aquellas definiciones en que los términos utilizados eran sinónimos. Partiendo de esas respuestas, decidimos construir una primera versión de las redes clasificándolas de acuerdo con las diferentes teorías que han existido: Davy, Arrhenius, Brønsted-Lowry y algunas que incluimos en categorías que eran intermedias entre estas. Esta manera de clasificar las respuestas no nos permitía reflejar la evolución de las concepciones alternativas de los alumnos, así que hicimos un paralelismo con el desarrollo histórico de los conceptos de ácido y base; así llegamos a esta otra forma de clasificarlas:

ÁCIDOS

–Por la fórmula o nomenclatura

–Contiene – $\left\{ \begin{array}{l} \text{–contiene} \\ \text{–no contiene} \end{array} \right.$

–Se obtienen iones H^+/H_3O^+

–Cede H^+

–Ganancia de electrones

–Neutralización

–Respuestas incoherentes

–Otras respuestas

BASES

–Por la fórmula o nomenclatura

–Contiene – $\left\{ \begin{array}{l} \text{–contiene} \\ \text{–no contiene} \end{array} \right.$

–Se obtienen iones OH^-

–Cede iones OH^-

–Capta iones H^+/H_3O^+

–Tipo de compuesto

–Neutralización

–Respuestas incoherentes

En la red que contiene las respuestas de por qué un compuesto es un **ácido**, destacamos que la mayor proporción de respuestas (54.4%) corresponden a la categoría "se obtienen iones H^+/H_3O^+ ", dominando las que consideran que los ácidos se caracterizan porque "se obtienen iones H^+ " (36.8%).

En las respuestas incluidas en la categoría "se obtienen iones H^+/H_3O^+ ", son muy pocos los alumnos que señalan que las moléculas se disocian para dar paso a la obtención de dichos iones (4.4% tanto para los iones H^+ como para los H_3O^+). Una de las razones es que de los libros de texto revisados sólo en la mitad de ellos se hacía referencia a la disociación de los ácidos y las bases para la obtención de iones.

Los alumnos señalan que tanto la obtención como la cesión de iones se realiza en disolución acuosa. Ello quizá se deba al estado de agregación en que aparecen los compuestos en el 97.4% de los cuestionarios: $HCl(g)$, $KOH(s)$, $CaO(s)$, $CH_3COOH(l)$, $NaH(s)$ y $H_2CO_3(ac)$. Es posible que el estado de agregación de estos productos de laboratorio haga que los alumnos consideren que, no

sólo la disociación en iones, sino también la cesión de protones tiene que suceder en disolución acuosa. No obtuvimos ninguna justificación en la que se considerara que el estado de agregación del compuesto podía ser un impedimento para que éste fuera un ácido o una base.

Recordemos que una de las grandes aportaciones de la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry radica en que no es necesario que un compuesto esté en disolución acuosa para ceder o captar protones; pero parecería que por lo menos para un porcentaje pequeño de los alumnos la cesión (3.5%) o captación (1.8%) de iones hidrógeno tiene que ocurrir en disolución acuosa.

El 27.2% de las respuestas se centran en que la molécula contenga hidrógeno, iones hidrógeno, un grupo carboxilo o que no contenga un grupo hidroxilo para poder identificarla como un ácido. El 8.8% de los alumnos reconocen que identifican los ácidos por su nomenclatura. Hubiéramos esperado que este último porcentaje fuera mucho mayor, pero es posible que aún cuando los estudiantes utilizan el nombre para identificar este tipo de compuestos, al dar la justificación prefieren hacer uso de los conceptos aprendidos en clase.

Cuando los alumnos justifican por qué los compuestos son **bases**, un poco menos de la mitad (47.4%) de sus respuestas se centran en la obtención de iones hidróxido. El resto de las respuestas optan por identificar las bases de acuerdo con lo que contienen o con su fórmula, aunque estas dos categorías podrían estar juntas porque los alumnos dicen que son bases, porque contienen iones hidróxido o porque son hidróxidos. Hemos decidido mantenerlas separadas porque otros alumnos responden que identifican a las bases por ser un hidruro, pero no porque contienen un ión hidruro.

Comparando las dos redes sistémicas que corresponden a esta pregunta, vemos que el porcentaje de alumnos que justifican la naturaleza básica de los compuestos (88.6%) es menor que el 93.0% de respuestas dadas para los ácidos.

De manera global podemos concluir que la mayor parte de los alumnos utilizan la teoría ácido-base de Arrhenius cuando tienen que justificar por qué un compuesto es ácido o básico, aunque la identificación de las bases se limita a los hidróxidos.

La teoría de Brønsted-Lowry se emplea mucho menos para justificar el carácter ácido-básico de los compuestos (38.6% para los ácidos y 14.9% para las bases).

PREGUNTA 2B. ¿POR QUÉ ES UN ÁCIDO?

N=114
CONTESTAN=93.0%

	- Por la fórmula o nomenclatura -	- por la nomenclatura (8.8%)	- al principio de la fórmula tiene H (3.5%)
	(13.2%)		
	- Contiene -	- iones H ⁺ (5.3%)	- grupo carboxilo (8.8%)
	(27.2%)	(24.6%)	- hidrógeno (7.9%)
			- otras respuestas (2.6%)
	- no contiene -	- grupo hidroxilo (2.6%)	
	(2.6%)		
	- Se obtienen iones H ⁺ /H ₃ O ⁺ -	- Se obtienen iones H ⁺ -	- (7.9%)
	(54.4%)	(36.8%)	- se disocia (4.4%)
			- en disolución acuosa (14.9%)
			- reacciona con agua (7.9%)
		- Se obtienen iones H ₃ O ⁺ -	- (3.5%)
		(17.5%)	- en disolución acuosa -
			(10.5%)
			- se disocia (4.4%)
			- otras respuestas (3.5%)
	- Cede iones H ⁺ -	- (11.4%)	
	(38.6%)	- en disolución acuosa (3.5%)	
		- al H ₂ O - se obtienen iones H ₃ O ⁺ (3.5%)	
		- HA + H ₂ O → H ₃ O ⁺ + A ⁻ (19.3%)	
	- Ganancia de electrones		
	(0.9%)		
	- Neutralización		
	(2.6%)		
	- Propiedades		
	(4.4%)		
	- Respuestas incoherentes -	- contiene -	- iones OH ⁻ (1.8%)
	(14.0%)	(6.1%)	- otras respuestas (4.4%)
		- cede electrones (1.8%)	
		- es un compuesto orgánico (2.6%)	
		- otras respuestas (3.5%)	
	- NC		
	(7.0%)		

Pregunta 3. ¿Qué es un ácido o una base de acuerdo con la teoría de Arrhenius?

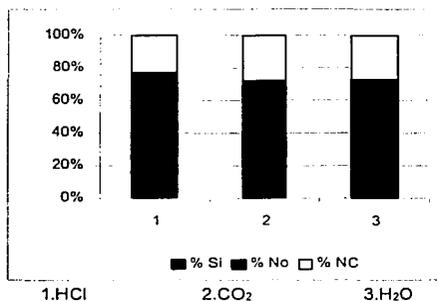
A continuación presentamos las tablas y las gráficas 3A y 3B en las que aparecen los porcentajes de respuestas que dan los alumnos a si ciertos compuestos son o no ácidos o bases de acuerdo con la teoría de Arrhenius.

	%Sí	%No	%NC
HCl	73.7	3.5	22.8
CO ₂	8.8	63.2	28.1
H ₂ O	28.1	44.7	27.2

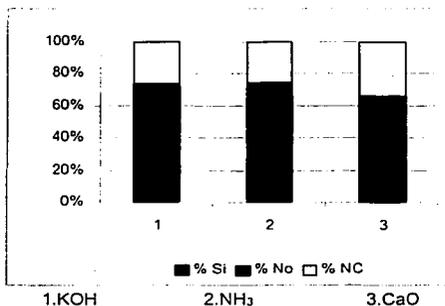
Tabla 3A. Porcentajes de respuestas sobre los ácidos de Arrhenius. Las respuestas consideradas correctas están en negrita.

	%Sí	%No	%NC
KOH	64.9	8.8	26.3
NH ₃	26.3	48.2	25.4
CaO	21.9	43.9	34.2

Tabla 3B. Porcentajes de respuestas sobre las bases de Arrhenius. Las respuestas consideradas correctas están en negrita.



Gráfica 3A. Ácidos según la teoría ácido-base de Arrhenius



Gráfica 3B. Bases según la teoría ácido-base de Arrhenius

**TESIS CON
FALLA DE JUREN**

De acuerdo con la teoría ácido-base de Arrhenius, el único papel que desempeña el agua en esta teoría es el de disolvente. El 44.7% de los alumnos consideran que el agua no es un ácido de Arrhenius, si bien un 28.1% consideran que es un ácido de Arrhenius.

Cuando se pide a los alumnos que digan si un compuesto es una base de Arrhenius, observamos que disminuyen los porcentajes de respuestas correctas.

Es destacable que el 48.2% para el amoniaco y 43.9% para el óxido de calcio de alumnos dicen que estos dos productos no son bases de Arrhenius. Probablemente se debe a que no existe el OH en la fórmula.

Para esta pregunta no sólo construimos una red general para las respuestas de los alumnos que es un ácido o una base de Arrhenius, sino también redes particulares para las respuestas a cada uno de los compuestos por separado. La existencia de redes particulares nos permite observar qué dicen los alumnos para cada compuesto y cómo justifican las respuestas afirmativas y las negativas; de esta manera al analizar la red de cada compuesto no sólo podemos saber la concepción de los alumnos sobre los ácidos o las bases de Arrhenius, sino incluso ideas más particulares sobre qué tanto conocen las limitaciones de esta teoría.

Tanto para las redes generales como para las que hicimos para cada compuesto, utilizamos el mismo esquema de clasificación que en la pregunta anterior. Este esquema nos permite, en cierta manera, ver cuál es la evolución de las ideas de los alumnos y al mismo tiempo establecer una especie de paralelismo entre la evolución histórica de las teorías ácido-base y las ideas de los alumnos. El esquema empleado es el siguiente:

ÁCIDOS DE ARRHENIUS

- Contiene
- Se obtienen iones H^+/H_3O^+
- Cede iones H^+
- Respuestas incoherentes

BASES DE ARRHENIUS

- Contiene

-contiene
-no contiene
- Se obtienen iones OH^-
- Cede iones OH^-
- Capta iones H^+
- Respuestas incoherentes

Redes sistémicas generales

La definición de **ácido de Arrhenius** más empleada por los alumnos dice que un ácido de Arrhenius es un compuesto que al estar en disolución acuosa da ("se obtienen") iones H^+ (19.3%). El 7.0% de las respuestas añaden a esta definición que el compuesto en disolución acuosa se disocia y se obtienen iones H^+ . Aquí podemos observar la influencia de los libros de texto, ya que en sólo la mitad de ellos hacen énfasis en que es gracias a la disociación que se obtienen los iones del ácido o la base.

Algunos alumnos, influidos quizá por la teoría de Brønsted-Lowry, consideran por un lado que los ácidos de Arrhenius ceden iones H^+ (10.5%) y por otro que los iones que se obtienen en disolución acuosa son iones hidronio (6.1%). Es importante recordar que fue precisamente T. M. Lowry quien propuso que el ión hidrógeno es sólo una especie transferible y que lo que existe en disolución acuosa son los iones hidronio. Es posible que una vez que los alumnos aprenden que el ión hidrógeno no existe como especie libre, decidan que tampoco debería aparecer en la teoría de Arrhenius.

La definición de **bases de Arrhenius** dada más veces por los alumnos, dice que "son compuestos que al estar en disolución acuosa se obtienen iones OH^- ". Al igual que en la definición de los ácidos, son muy pocos los alumnos que toman en cuenta el proceso de disociación (6.1%). Como ya hemos dicho, no en todos los libros de texto se menciona a este proceso cuando se aportan las definiciones de ácidos y bases de Arrhenius.

Tratándose de las bases de Arrhenius, son menos los alumnos que, en comparación con los ácidos (10.5%), dan la definición de base de Brønsted-Lowry (6.1%): "las bases son compuestos que captan iones H^+ ".

En comparación con la pregunta anterior debemos destacar que disminuye el porcentaje de cuestionarios en que los alumnos dan una justificación. Quizá sea, como comentaron algunos de los alumnos que contestaron el cuestionario, que les parecía algo repetitivo. Es posible que algunos alumnos consideraran que en esta pregunta (ácidos y bases de Arrhenius), en la anterior (ácidos y bases) y en la siguiente (ácidos y bases de Brønsted-Lowry) se preguntaba lo mismo.

PREGUNTA 3A. ¿QUÉ ES UN ÁCIDO DE ARRHENIUS?

N=114
CONTESTAN=57.9%

O - O (64.5%) - O (10.5%) - O (3.5%) - O (3.5%) - O (3.5%) - O (42.1%)	O ión H ⁺ (4.4%)				
	- Contiene - hidrógeno (3.5%)	- otras respuestas (2.6%)			
	- Se obtienen iones H ⁺ / H ₃ O ⁺ - (40.4%)	O - Se obtienen iones H ⁺ - (33.3%)	- se disocia (7.0%)	- en disolución acuosa (19.3%)	- (6.1%)
		- Se obtienen iones H ₃ O ⁺ - (7.0%)	- en disolución acuosa - (6.1%)	- cede ión H ⁺ al H ₂ O (2.6%)	
	O - en disolución acuosa (2.6%)				
	- Cede iones H ⁺ - (10.5%)	- (3.5%)			
	- HA + H ₂ O → H ₃ O ⁺ + A ⁻ (3.5%)				
	- Respuestas incoherentes (3.5%)				
	- NC (42.1%)				

PREGUNTA 3B. ¿QUÉ ES UNA BASE DE ARRHENIUS?

N=114
CONTESTAN=53.5%

- Contiene - (9.6%)	- contiene - (7.9%)	- ion OH ⁻ (4.4%)
	- no contiene (1.8%)	- grupo hidroxilo (3.5%)
- Se obtienen iones OH ⁻ - (34.2%)	-	- (5.3%)
		- al disociarse (3.5%)
		- en disolución acuosa - (21.9%)
- reacciona con H ₂ O - (2.6%)	- se disocia (2.6%)	- (18.4%)
	- capta ión H ⁺ (1.8%)	
- Cede iones OH ⁻ - (3.5%)	- puede ceder iones OH ⁻ (2.6%)	
- Capta iones H ⁺ - (6.1%)	- en disolución acuosa (1.8%)	
	- (1.8%)	
	- capta protones (1.8%)	
- Respuestas incoherentes - (7.0%)	- se obtienen iones H ⁺ (1.8%)	
	- otras respuestas (5.3%)	
- NC (46.5%)		

En relación con cómo afectó la presencia de los símbolos de los estados de agregación en las fórmulas de los compuestos a las respuestas de los alumnos, es necesario destacar que en 5 de los 114 cuestionarios los productos de esta pregunta aparecían de la siguiente forma: HCl(g) , $\text{CO}_2(\text{g})$, $\text{H}_2\text{O(l)}$, KOH(s) , $\text{NH}_3(\text{g})$ y CaO(s) y no afectó de forma significativa el estado de agregación de los compuestos, aunque no es fácil saberlo ya que en las respuestas no se hace ninguna alusión directa a esto.

Redes sistémicas por compuestos

Al analizar las redes por compuestos, observamos que la respuesta a la que más recurren los alumnos para justificar que un compuesto en un **ácido de Arrhenius** es que "se obtienen iones H^+ ", ya sea porque se disocia, se ioniza o está en disolución acuosa. Los alumnos consideran que un compuesto no es un ácido de Arrhenius porque a partir de éste "no se obtienen iones H^+ ".

Como ya habíamos propuesto en las hipótesis, ningún alumno conoce tan a fondo la teoría ácido-base de Arrhenius para saber que el agua sólo se considera un disolvente. La cantidad de respuestas que dicen que el agua sí es un ácido de Arrhenius (23.7%) es menor que la de aquellos que dicen que no lo es (30.7%). En general las respuestas que justifican que el agua no es un ácido aluden a su neutralidad, diciendo cosas como: es neutra, contiene iones H^+ y iones OH^- o a partir de esta se obtienen iones H^+ y iones OH^- .

En las redes por compuestos para las **bases de Arrhenius**, observamos que sólo cuando se trata del hidróxido de potasio, las respuestas consideran que es una base de Arrhenius porque a partir de este compuesto "se obtienen iones OH^- ". Tratándose de un hidróxido, son muy pocos los alumnos que consideran que es una molécula que puede captar iones hidrógeno, quizá porque es evidente la presencia de iones hidróxido y, por tanto, la obtención de ellos.

Cuando los alumnos deben considerar o no bases de Arrhenius al NH_3 y al CaO , los porcentajes de respuestas son muy cercanos. Para el amoníaco, el 10.5% de los alumnos que consideran que sí es un ácido de Arrhenius, dan como justificación que lo es porque capta iones H^+ , es decir que dejan de emplear la teoría ácido-base de Arrhenius. Cuando los alumnos intentan justificar que el amoníaco no es una base, las respuestas se dividen entre aquellas que justifican que no es una base porque el

compuesto contiene iones H^+ o no contiene iones OH^- (12.3%) y los que consideran que a partir del NH_3 no se obtienen iones OH^- .

Si revisamos las respuestas para el óxido de calcio, las justificaciones obtenidas a la pregunta de por qué el CaO es una base, se dividen casi de forma equivalente entre los que piensan que lo es por contener o no un cierto elemento o ión (4.4%), porque a partir de este compuesto se obtienen iones OH^- (3.5%) o porque capta iones hidrógeno (2.6%). En el 14.9% de las respuestas que justifican que el óxido de calcio no es una base de Arrhenius los alumnos consideran que no lo es porque a partir de este compuesto no se obtienen iones hidróxido. El porcentaje de respuestas más cercano a este último corresponde a los alumnos (7.9%) que consideran que un compuesto no puede ser considerado una base de Arrhenius porque no contiene OH o porque contiene el ión oxígeno (que quizá es una forma de decir que no contiene un grupo hidroxilo).

PREGUNTA 3A. ¿POR QUÉ EL $\text{CO}_2(\text{ac})/(\text{g})$ ES UN ÁCIDO DE ARRHENIUS?

N=114
 CONTESTAN=48.2%
 NO CONTESTAN=51.8%

○	-Se obtienen iones H^+ (0.9%)
-	- Otras respuestas (4.4%) (3.5%)

PREGUNTA 3A. ¿POR QUÉ EL $\text{CO}_2(\text{ac})/(\text{g})$ NO ES UN ÁCIDO DE ARRHENIUS?

○	-No contiene -	-hidrógeno (2.6%) -iones H^+ (7.0%) (9.6%)
-	-No se obtienen iones H^+ (16.7%)	-No se obtienen iones H^+ - (7.0%) (15.8%) -en disolución acuosa (7.9%) -No se obtienen iones H_3O^+ (0.9%)
○	-No cede iones H^+ (44.7%) (5.3%)	- (3.5%) -otras respuestas (1.8%)
-	-Capta iones H^+ (4.4%)	- (1.8%) - $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_2^+ + \text{OH}^-$ (1.8%)
-	- Otras respuestas (8.8%)	

PREGUNTA 3A. ¿POR QUÉ EL H₂O(l) ES UN ÁCIDO DE ARRHENIUS?

N=114

CONTESTAN=54.4%

NO CONTESTAN=45.6%

C - (23.7%)	-Propiedades - -actúa como ácido o como base (2.6%) (2.6%)		
	-Contiene - -iones H ⁺ (3.5%) (4.4%)		
	-Se obtienen iones H ⁺ /H ₃ O ⁺ /OH ⁻ - (13.2%)	-se obtienen iones H ⁺ - (7.9%)	- (1.8%) -en disolución acuosa (2.6%) -se disocian (3.5%)
	-Cede iones H ⁺ (2.6%)	-se obtienen iones H ⁺ /OH ⁻ (2.6%)	
	-Otras respuestas (0.9%)	-se obtienen iones H ₃ O ⁺ (0.9%)	
		-se obtienen iones H ₃ O ⁺ /OH ⁻ (1.8%)	

PREGUNTA 3A. ¿POR QUÉ EL H₂O(l) NO ES UN ÁCIDO DE ARRHENIUS?

C - (30.7%)	-Propiedades - -es neutra (8.8%) (11.4%) -no es ácida (2.6%)	
	-Contiene - -iones H ⁺ y OH ⁻ (0.9%) (0.9%)	
	-Se obtienen iones H ⁺ /OH ⁻ - (5.3%)	-se obtienen iones H ⁺ y OH ⁻ (2.6%) -H ₂ O → H ⁺ + OH ⁻ (2.6%)
	-No se obtienen iones H ⁺ - (3.5%)	- (1.8%) -otras respuestas (1.8%)
	-Capta/cede iones H ⁺ - -cede y capta protones (1.8%) (2.6%)	
	-Otras respuestas (7.0%)	

PREGUNTA 3B. ¿POR QUÉ EL KOH(ac)/(s) ES UNA BASE DE ARRHENIUS?

N=114
 CONTESTAN=53.5%
 NO CONTESTAN=46.5%

	- Contiene - iones OH ⁻ (6.1%) (7.0%)	
		- (7.0%)
		o - en disolución acuosa (14.9%)
	- Se obtienen iones OH ⁻ (35.1%)	- al disociarse (4.4%)
		- KOH + H ₂ O → K ⁺ + OH ⁻ (4.4%)
		- otras respuestas (4.4%)
o	- Cede iones OH ⁻ (2.6%)	
-	(50.0%)	
	- Capta iones H ⁺ (1.8%)	
	- Otras respuestas (3.5%)	

PREGUNTA 3B. ¿POR QUÉ EL KOH(ac)/(s) NO ES UNA BASE DE ARRHENIUS?

	- Se obtienen iones H ⁺ (0.9%)
	- No capta iones H ⁺ - no capta protones (0.9%) (0.9%)
-	(4.4%) - Otras respuestas (2.6%)

PREGUNTA 3B. ¿POR QUÉ EL NH₃(ac)/(g) ES UNA BASE DE ARRHENIUS?

N=114

CONTESTAN=48.2%

NO CONTESTAN=51.8%

-	-	Se obtienen iones OH ⁻	-	- <0.9%>
				- en disolución acuosa <1.8%>
		<2.6%>		
○	-	Capta iones H ⁺	-	- capta protones <1.8%>
				- <2.6%>
<16.7%>				- NH ₃ + H ₂ O → NH ₄ ⁺ + OH ⁻ <5.3%>
		Otras respuestas		<3.5%>

PREGUNTA 3B. ¿POR QUÉ EL NH₃(ac)/(g) NO ES UNA BASE DE ARRHENIUS?

-	-	No contiene /contiene	-	- no contiene iones OH ⁻ <7.0%>
				- contiene iones H ⁺ <2.6%>
		<12.3%>		- NH ₃ → N ³⁻ + H ⁺ <2.6%>
<33.3%>	-	No se obtienen iones OH ⁻	-	- <7.0%>
				- en disolución acuosa <2.6%>
		<12.3%>		- al disociarse <1.8%>
		No cede iones OH ⁻		<2.6%>
		Otras respuestas		<7.0%>

PREGUNTA 3B. ¿POR QUÉ EL CaO(ac)/(s) ES UNA BASE DE ARRHENIUS?

N=114
 CONTESTAN=41.2%
 NO CONTESTAN=58.8%

C — (12.3%)	—Contiene/ no contiene— (4.4%)	—no contiene hidrógeno (1.8%) —contiene oxígeno (0.9%) —CaO → Ca ²⁺ + O ²⁻ (1.8%)
	—Se obtienen iones OH ⁻ (3.5%)	
	—Capta iones H ⁺ — (2.6%)	—capta protones (1.8%) —(0.9%)
	—Otras respuestas (1.8%)	

PREGUNTA 3B. ¿POR QUÉ EL CaO(ac)/(s) NO ES UNA BASE DE ARRHENIUS?

C — (33.3%)	—Propiedades— (0.9%)	—el oxígeno da carácter ácido (0.9%)
	—No contiene /contiene— (7.9%)	—no contiene OH (5.3%) —Ca ²⁺ + O ²⁻ → CaO (2.6%)
	—No se obtienen iones OH ⁻ (14.9%)	—(6.1%) —en disolución acuosa (5.3%) —al disociarse (3.5%)
	—No cede iones OH ⁻ (2.6%)	
	—No capta iones H ⁺ (0.9%)	
—Otras respuestas (6.1%)		

Pregunta 4. ¿Qué es un ácido o una base de acuerdo con la teoría de Brønsted-Lowry?

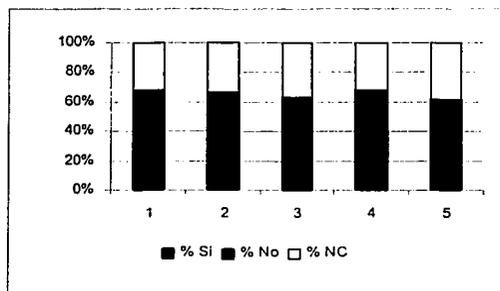
En la tabla y la gráfica 4A, aparecen los porcentajes de respuestas dadas por los alumnos acerca del carácter ácido de acuerdo con la teoría de Brønsted-Lowry de las especies presentes. Se puede ver lo mismo en la tabla y la gráfica 4B pero para las especies que serían bases de Brønsted-Lowry.

	%Si	%No	%NC
HCl(g)	36.8	31.6	31.6
HCl(ac)	61.4	5.3	33.3
H ⁺ (ac)	37.7	25.4	36.8
NH ₄ ⁺ (ac)	40.4	28.1	31.6
NH ₄ Cl(ac)/(s)	28.9	32.5	38.6

Tabla 4A. Porcentajes de respuestas para los ácidos según la teoría de Brønsted-Lowry. Las respuestas consideradas correctas están en negrita.

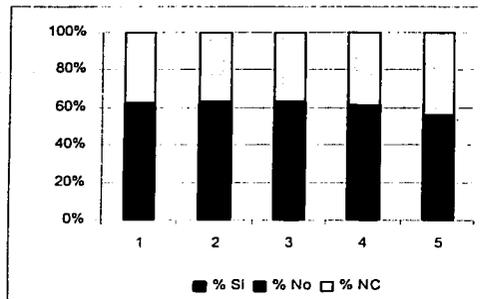
	%Si	%No	%NC
NH ₃ (g)	26.3	36.0	37.7
NH ₃ (ac)	49.1	14.0	36.8
NaOH(ac)/(s)	50.9	12.3	36.8
OH ⁻ (ac)	50.0	11.4	38.6
O ²⁻ (ac)	27.2	28.9	43.9

Tabla 4B. Porcentajes de respuestas para las bases según la teoría de Brønsted-Lowry. Las respuestas consideradas correctas están en negrita.



1. HCl(g)
2. HCl(ac)
3. H⁺(ac)
4. NH₄⁺(ac)
5. NH₄Cl(ac)/(s)

Gráfica 4A. Ácidos de acuerdo con la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry.



1. $\text{NH}_3(\text{g})$
 2. $\text{NH}_3(\text{ac})$
 3. $\text{NaOH}(\text{ac})/(\text{s})$
 4. $\text{OH}^-(\text{ac})$
 5. $\text{O}^{2-}(\text{ac})$

Gráfica 4B. Bases de acuerdo con la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry

En las gráficas 4A y 4B, vemos cómo aumenta, en comparación con las preguntas anteriores, la cantidad de alumnos que no contestan si las especies químicas de esta pregunta son o no ácidos o bases de Brønsted-Lowry.

Revisando únicamente la gráfica 4A, hallamos que el 61.4% de los alumnos consideran que el ácido clorhídrico es un ácido de Brønsted-Lowry; en cambio para las otras entidades químicas los porcentajes de respuestas correctas no son tan elevados. Cuando indagamos sobre las especies que son o no bases de Brønsted-Lowry, en ninguna de las especies el porcentaje de respuestas correctas llega a ser tan alto como para el ácido clorhídrico. La mitad de los alumnos consideran que el $\text{NH}_3(\text{ac})$, el $\text{NaOH}(\text{ac})/(\text{s})$ y el $\text{OH}^-(\text{ac})$ son bases de Brønsted-Lowry, pensamos que es porque son bases que conocen; en los casos del hidróxido de sodio y del ión hidróxido además los alumnos reconocen la presencia del OH.

Deducimos de las dos gráficas que los alumnos conocen poco que "una entidad química no necesita estar en disolución acuosa para ser un ácido o una base de Brønsted-Lowry", que es una de las aportaciones más importantes de esta teoría. El 36.8% de respuestas para el cloruro de hidrógeno y el 26.3% para el amoníaco gaseoso, afirman que estos compuestos son un ácido y una base de Brønsted-Lowry, respectivamente.

Para poder analizar mejor las respuestas de los alumnos, las redes sistémicas que hicimos incluyen las respuestas generales sobre qué son los ácidos y bases de Brønsted-Lowry, según los alumnos y

redes particulares para cada una de las especies que aparecen en esta pregunta. Construimos las redes sistémicas utilizando prácticamente el mismo esquema que para las dos preguntas anteriores:

ÁCIDOS DE BRØNSTED-LOWRY

- Nomenclatura
- Contiene — | —contiene
 | —no contiene
- Se obtienen iones H^+/H_3O^+
- Capta iones OH^-
- Cede iones H^+
- Capta electrones
- Propiedades
- Respuestas incoherentes

BASES DE BRØNSTED-LOWRY

- Contiene — | —contiene
 | —no contiene
- Se obtienen iones OH^-
- Cede iones OH^-
- Capta iones H^+
- Cede electrones
- Respuestas incoherentes

Redes sistémicas generales

En la red sistémica en que analizamos las respuestas acerca de qué es un **ácido de Brønsted-Lowry**, vemos que el porcentaje más elevado de respuestas se concentra en el 29.8% que contesta que los ácidos de Brønsted-Lowry "ceden iones H^+ ". Entre estas respuestas el 8.8% de los alumnos consideran que el proceso de cesión de protones debe ocurrir en disolución acuosa. Si recordamos la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry, para estos dos autores un ácido o una base se caracterizan por ser entidades que pueden ceder o aceptar iones hidrógeno respectivamente, pero no se comportan como ácidos y bases hasta que no se encuentran frente a otra especie con la que hacer la transferencia protónica. Quizá algunos alumnos consideran que el proceso de transferencia protónica se realiza en agua, para poder tener una especie a la que transferir el protón. Aunque es más probable que los alumnos contesten que la transferencia protónica sólo ocurre en disolución acuosa porque no saben que la teoría de Brønsted-Lowry se extiende a otros disolventes o porque continúan considerando algunas de las ideas de la teoría de Arrhenius.

Entre las respuestas de lo que creen los alumnos que es una **base de Brønsted-Lowry**, dominan los que piensan que se caracterizan por "captar iones hidrógeno" (18.4%), pero un porcentaje de respuestas cercano a éste (14.0%) corresponde a los alumnos que consideran que a partir de las bases de Brønsted-Lowry se obtienen iones hidróxido. Parecería que los estudiantes no alcanzan a comprender que son dos teorías distintas.

PREGUNTA 4A. ¿QUÉ ES UN ÁCIDO DE BRØNSTED-LOWRY?

N=114
CONTESTAN=45.6%

	- Nomenclatura			
		<0.9%		
	- Contiene -	- iones H^+	<1.8%	
			<3.5%	
	- Se obtienen iones H^+/H_3O^+			
		<7.9%		
				- en disolución acuosa -
				<2.6%
		- Se obtienen iones H^+	<6.1%	<4.4%
				- no se obtienen iones H^+
				<0.9%
		- Se obtienen iones H_3O^+	<1.8%	
			<1.8%	
	- Capta iones OH^-			
		<1.8%		
				- en disolución acuosa -
				- cede iones H^+
				<8.8%
				<11.4%
<51.8%	- Cede iones H^+			
		<29.8%		
				- reacciona con H_2O - le cede el ión H^+ - se obtiene ión H_3O^+
				<2.6%
				- $HA + H_2O \rightarrow H_3O^+ + A^-$
				<7.0%
	- Capta electrones			
		<3.5%		
	- Propiedades			
		<1.8%		
	- Respuestas incoherentes			
		<3.5%		
	- NC			
		<54.4%		

PREGUNTA 4B. ¿QUÉ ES UNA BASE DE BRØNSTED-LOWRY?

N=114
CONTESTAN=37.7%

- Contiene - (3.5%)	- contiene -	- ión OH ⁻ (1.8%) (2.6%)
	- no contiene	(0.9%)
- Se obtienen iones OH ⁻ - (14.0%)	-	(4.4%)
	- en disolución acuosa -	(9.6%)
	- reacciona con H ₂ O	(6.1%) (2.6%)
- Cede iones OH ⁻ - (1.8%)	- cede iones OH ⁻	(1.8%)
- Capta iones H ⁺ - (18.4%)	- en disolución acuosa	(7.0%)
	-	(8.8%)
	- otras respuestas	(2.6%)
- Cede electrones		(1.8%)
- Respuestas incoherentes		(5.3%)
- NC		(62.3%)

De las respuestas a los 5 cuestionarios que presentan un estado de agregación distinto para dos de las especies ($\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$, $\text{NaOH}(\text{s})$), deducimos que sólo en dos de ellos afecta el estado de agregación. Las respuestas obtenidas en esos dos cuestionarios dicen que no pueden ser un ácido o una base por que son sólidos.

Redes sistémicas por especies químicas

Ya hemos dicho que hay algunos alumnos que basan su justificación, sobre si una especie química es un ácido o una base de Brønsted-Lowry, en que la transferencia protónica suceda en disolución acuosa. Al analizar las redes por especies químicas, tanto en el caso de los ácidos (10.5%) como de las bases (7.9%) de Brønsted-Lowry, observamos que los alumnos piensan que una entidad química no es ni un ácido ni una base si está en estado gaseoso.

Recordemos que para Brønsted-Lowry hay sustancias que pueden tener una naturaleza ácido-base precisamente porque los iones son los que ceden o captan protones. El 32.5% de los alumnos para el cloruro de amonio y sólo el 12.3% para el hidróxido de sodio reconocen que estos dos compuestos no son un ácido y una base de Brønsted-Lowry, respectivamente. Creemos que el resto de alumnos seguramente no saben que para estos autores el ácido o la base es únicamente la especie (ión o molécula) que acepta o cede los protones; es decir, que ni el cloruro de amonio es un ácido (lo es el ión amonio) ni el hidróxido de sodio una base (lo es el ión hidróxido) dentro del marco de esta teoría. Queremos destacar que a partir de las respuestas obtenidas, no podemos saber qué piensan los alumnos sobre el papel de los iones como posibles ácidos o bases de Brønsted-Lowry; ningún alumno justifica que un ión no sea un ácido o una base por ser un ión.

De las redes sistémicas por especie química, deducimos que para los estudiantes las entidades químicas "son ácidos de Brønsted-Lowry si ceden iones hidrógeno". Hallamos en las redes que el 14.0% de los alumnos justifica que el ión hidrógeno no sea un **ácido de Brønsted-Lowry**. De estas justificaciones el porcentaje más alto de respuestas (3.5%) corresponde a que este ión no puede ceder iones hidrógeno, es decir que no puede autocederse. Muy pocos alumnos (1.8%) piensan que el ión H^+ no puede ser un ácido porque no existe. De estas respuestas podríamos deducir que esos alumnos consideran que el ión H^+ es únicamente una especie transferible, pero eso no lo podemos saber con certeza.

De las redes sistémicas por especies químicas para las **bases de Brønsted-Lowry**, sin considerar las respuestas del ión hidróxido, deducimos que la mayoría de los estudiantes piensan que las bases de Brønsted-Lowry se caracterizan por "captar iones H^+ ". El 12.3% de los alumnos justifican que el ión hidróxido es una base de Brønsted-Lowry porque a partir de este ión "se obtienen iones OH^- ".

En las respuestas que hemos encontrado menos consenso de las ideas de los alumnos es en las características que hacen que una entidad química no se considere una base de Brønsted-Lowry. El 5.3% para el $NH_3(g)$ y el 1.8% para el $NaOH(ac)/(s)$ de los alumnos (que son los porcentajes relativamente más elevados) señalan que estas especies no son bases de Brønsted-Lowry porque "no captan iones H^+ ". Es posible que debido a que ésta pregunta incluía varias especies, sólo el 22.8% de los alumnos justifican si el ión oxígeno es un ácido o una base de Brønsted-Lowry.

Pensábamos que algunos de los alumnos podían tener problemas con el uso del término protón, ya que no en todos los libros de texto aclaran que en la teoría de Brønsted-Lowry a los iones hidrógeno se les conoce como protones. Algunos de los alumnos en sus justificaciones escriben que se ceden o aceptan protones y si no lo aclaran con una ecuación química podríamos deducir que no necesariamente se refieren a los iones hidrógeno. Hay otros cuestionarios en los que los alumnos mencionan una transferencia de electrones y, puesto que en el currículo de bachillerato no está incluida la teoría de Lewis, pensamos que esos alumnos creen que así como los ácidos y bases se transfieren protones entre ellos, también pueden transferirse electrones, pero sin pensar en los pares electrónicos de la teoría ácido-base de Lewis.

PREGUNTA 4A. ¿POR QUÉ EL HCl(g) ES UN ÁCIDO DE BRØNSTED-LOWRY?

N=114

CONTESTAN=36.8%

NO CONTESTAN=63.2%

C - (19.3%)	-Nomenclatura - -se llama ácido clorhídrico (1.8%) (1.8%)
	-Contiene H ⁺ /H ₃ O ⁺ (1.8%)
	-Se obtienen iones H ⁺ /H ₃ O ⁺ (2.6%)
	-Cede iones H ⁺ - - (5.3%) (11.4%) - HA + H ₂ O → A ⁻ + H ₃ O ⁺ (4.4%)
	-Otras respuestas (1.8%)

PREGUNTA 4A. ¿POR QUÉ EL HCl(g) NO ES UN ÁCIDO DE BRØNSTED-LOWRY?

C - (22.8%)	-Propiedades - -es un gas (7.9%) (10.5%) - no está disuelto (2.6%)
	-No se obtienen iones H ₃ O ⁺ (0.9%)
	-No cede iones H ⁺ - - (3.5%) (5.3%) - en estado gaseoso (0.9%)
	-No existe H ⁺ (0.9%)
	-Otras respuestas (5.3%)

PREGUNTA 4A. ¿POR QUÉ EL HCl(ac) ES UN ÁCIDO DE BRØNSTED-LOWRY?

N=114
 CONTESTAN=40.4%
 NO CONTESTAN=59.6%

C — <41.2%>	-Propiedades —	—está en disolución acuosa <4.4%> <4.4%>
	-Contiene H ⁺ /H ₃ O ⁺	<2.6%>
	-Se obtienen iones H ⁺ /H ₃ O ⁺	—se obtienen iones H ⁺ <2.6%> —se obtienen iones H ₃ O ⁺ <0.9%> <3.5%>
	-Cede iones H ⁺	—en disolución acuosa <4.4%> —<14.0%> —HA + H ₂ O → A ⁻ + H ₃ O ⁺ <6.1%> —especies conjugadas — —HA + H ₂ O → A ⁻ + H ₃ O ⁺ <1.8%> A ₁ B ₂ B ₁ A ₂ <1.8%> <27.2%>
	- Otras respuestas	<3.5%>

PREGUNTA 4A. ¿POR QUÉ EL HCl(ac) NO ES UN ÁCIDO DE BRØNSTED-LOWRY?

— <2.6%>	-Propiedades —	—no está en estado gaseoso <0.9%> <0.9%>
	-No existe H ⁺	<0.9%>
	- Otras respuestas	<0.9%>

PREGUNTA 4A. ¿POR QUÉ EL H⁺(ac) ES UN ÁCIDO DE BRØNSTED-LOWRY?

N=114
 CONTESTAN=36.0%
 NO CONTESTAN=64.0%

- Propiedades - | - está en disolución acuosa <2.6%>
 <2.6%>
- Contiene - | - iones H⁺ <4.4%>
 <6.1%> | - iones H₃O⁺ <1.8%>
- Se obtienen iones H₃O⁺
 <0.9%>
- Cede iones H⁺ - | - <7.0%>
 <26.3%> | - H⁺ + H₂O → H₃O⁺ <4.4%>
 <11.4%>
- Acepta electrones
 <2.6%>
- Otras respuestas
 <2.6%>

PREGUNTA 4A. ¿POR QUÉ EL H⁺(ac) NO ES UN ÁCIDO DE BRØNSTED-LOWRY?

- Propiedades - | - no está en estado gaseoso <0.9%>
 <0.9%>
- No cede iones H⁺
 <3.5%>
- Capta iones H⁺
 <2.6%>
- No existe H⁺
 <1.8%>
- Otras respuestas
 <5.3%>

PREGUNTA 4A. ¿POR QUÉ EL NH_4^+ (ac) ES UN ÁCIDO DE BRØNSTED-LOWRY?

N=114

CONTESTAN=38.6%

NO CONTESTAN=61.4%

	—Propiedades —	—está en disolución acuosa (2.6%)	
		<2.6%	
	—Contiene —	—iones H^+ (2.6%)	
		<2.6%	
	—Se obtienen iones H_3O^+		
		<1.8%	
			— (14.9%)
<36.0%	—Cede iones H^+ —	— $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+$ (7.0%)	
		<25.4%	—es un ácido conjugado (2.6%)
	—Acepta electrones		
		<1.8%	
	—Otras respuestas		
		<1.8%	

PREGUNTA 4A. ¿POR QUÉ EL NH_4^+ (ac) NO ES UN ÁCIDO DE BRØNSTED-LOWRY?

	—Propiedades —	—no está en estado gaseoso (0.9%)
		<0.9%
	—Capta iones H^+	
		<1.8%
	—No existe H^+	
<7.9%		<0.9%
	—Otras respuestas	
		<4.4%

PREGUNTA 4B. ¿POR QUÉ EL NH₃(g) ES UNA BASE DE BRØNSTED-LOWRY?

N=114
 CONTESTAN=30.7%
 NO CONTESTAN=69.3%

0 - <13.2%>	-Se obtienen iones OH ⁻ <2.6%>	-<3.5%> -NH ₃ + H ₂ O → NH ₄ ⁺ + OH ⁻ <2.6%> -especies conjugadas - <1.8%>	- B + H ₂ O → HB ⁺ + OH ⁻ <1.8%> B ₁ A ₂ A ₁ B ₂
	-Capta iones H ⁺ <8.8%>		
	-Otras respuestas <1.8%>		
	-		

PREGUNTA 4B. ¿POR QUÉ EL NH₃(g) NO ES UNA BASE DE BRØNSTED-LOWRY?

0 - <21.1%>	-Propiedades - <7.9%>	-es un gas <5.3%> -no está en agua <2.6%>
	-No se obtienen iones OH ⁻ <1.8%>	
	-No capta iones H ⁺ <5.3%>	-<4.4%> -en estado gaseoso <0.9%>
	-Otras respuestas <6.1%>	

PREGUNTA 4B. ¿POR QUÉ EL NH₃(ac) ES UNA BASE DE BRØNSTED-LOWRY?

N=114
 CONTESTAN=35.1%
 NO CONTESTAN=64.9%

- $\langle 33.3\% \rangle$		-Propiedades -		-es acuoso $\langle 0.9\% \rangle$
		$\langle 2.6\% \rangle$		-está disuelto $\langle 1.8\% \rangle$
		-Se obtienen iones OH ⁻		$\langle 3.5\% \rangle$
		-Captura iones H ⁺		$\langle 22.8\% \rangle$
		-en disolución acuosa $\langle 2.6\% \rangle$		
		-especies conjugadas		- $B + H_2O \rightarrow HB^+ + OH^-$ $\langle 6.1\% \rangle$
		$\langle 1.8\% \rangle$		- $B + H_2O \rightarrow HB^+ + OH^-$ $\langle 1.8\% \rangle$
				B ₁ A ₂ A ₁ B ₂
		- Otras respuestas		$\langle 4.4\% \rangle$

PREGUNTA 4B. ¿POR QUÉ EL NH₃(ac) NO ES UNA BASE DE BRØNSTED-LOWRY?

- $\langle 5.3\% \rangle$		-Propiedades -		-no está en estado gaseoso $\langle 0.9\% \rangle$
		$\langle 0.9\% \rangle$		-hidrógeno $\langle 0.9\% \rangle$
		- Otras respuestas		$\langle 3.5\% \rangle$

PREGUNTA 4B. ¿POR QUÉ EL NaOH(ac)/(s) ES UNA BASE DE BRØNSTED-LOWRY?

N=114
 CONTESTAN=33.3%
 NO CONTESTAN=66.7%

- Propiedades - | -está disuelto (1.8%)
 (1.8%)
- Contiene ión OH⁻
 (1.8%)
- Se obtienen iones OH⁻ - | - (7.0%)
 (12.3%) | -en disolución acuosa (3.5%)
 | -NaOH + H₂O → Na⁺ + OH⁻ (1.8%)
- Cede iones OH⁻
 (28.9%) (1.8%)
- Capta iones H⁺ - | - (6.1%)
 (9.6%) | -en disolución acuosa (3.5%)
- Otras respuestas
 (1.8%)

PREGUNTA 4B. ¿POR QUÉ EL NaOH(ac)/(s) NO ES UNA BASE DE BRØNSTED-LOWRY?

- No capta iones H⁺
 (1.8%)
- Respuestas incoherentes - | -cede iones H⁺ (1.8%)
 (1.8%)
- Otras respuestas
 (7.9%) (4.4%)

PREGUNTA 4B. ¿POR QUÉ EL OH⁻(ac) ES UNA BASE DE BRØNSTED-LOWRY?

N=114

CONTESTAN=25.4%

NO CONTESTAN=74.6%

- <23.7%>	-Propiedades - -está disuelto <1.8%> <1.8%>	
	-Contiene - -iones OH ⁻ <2.6%> <2.6%>	
	-Se obtienen iones OH ⁻ <1.8%>	
	-Captura iones H ⁺ - <14.9%>	-en disolución acuosa <1.8%> - <7.9%> - forma H ₂ O <3.5%> - OH ⁻ + H ₂ O → H ₂ O + OH ⁻ <1.8%>
	-Otras respuestas <2.6%>	

PREGUNTA 4B. ¿POR QUÉ EL OH⁻(ac) NO ES UNA BASE DE BRØNSTED-LOWRY?

- <3.5%>	-Propiedades - -no está en estado gaseoso <0.9%> <0.9%>
	-Otras respuestas <2.6%>

PREGUNTA 4B. ¿POR QUÉ EL $O^{2-}(ac)$ ES UNA BASE DE BRØNSTED-LOWRY?

N=114

CONTESTAN=22.8%

NO CONTESTAN=77.2%

-		-Propiedades -	- está disuelto (1.8%)	
			(1.8%)	
		-Capta iones H^+	- en disolución acuosa (1.8%)	
			(14.0%)	
-		-	- $O^{2-} + H_2O \rightarrow OH^- + OH^-$ (2.6%)	
				(7.0%)
				- forma H_2O (2.6%)
		- Otras respuestas	(3.5%)	

PREGUNTA 4B. ¿POR QUÉ EL $O^{2-}(ac)$ NO ES UNA BASE DE BRØNSTED-LOWRY?

-		-Propiedades -	- no está en estado gaseoso (0.9%)
			(0.9%)
-		-No contiene iones OH^-	(0.9%)
		-No se obtienen iones OH^-	(1.8%)
		- Otras respuestas	(1.8%)

Pregunta 5 ¿Por qué los ácidos y las bases son fuertes o débiles?

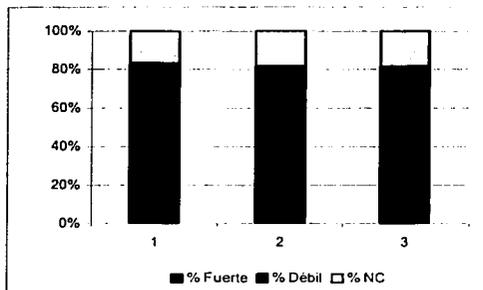
En la tabla y la gráfica 5A presentamos los porcentajes de respuestas (fuerte, débil y no contesta) que dieron los alumnos acerca de la fuerza de algunos ácidos; en la tabla y la gráfica 5B aparece lo mismo pero para las tres bases de esta pregunta.

	%Fuerte	%Débil	%NC
CH ₃ COOH(ac)/(l)	19.3	64.0	16.7
H ₂ CO ₃ (ac)	46.5	35.1	18.4
HNO ₃ (ac)/(l)	65.8	15.8	18.4

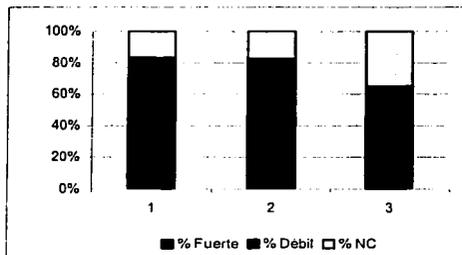
Tabla 5A. Porcentaje de respuestas sobre la fuerza de algunos ácidos. Las respuestas consideradas correctas están en negrita.

	%Fuerte	%Débil	%NC
NaOH(s)	69.3	14.0	16.7
NH ₃ (g)	33.3	49.1	17.5
NaH(s)	17.5	47.4	35.1

Tabla 5B. Porcentaje de respuestas sobre la fuerza de algunas bases. Las respuestas consideradas correctas están en negrita.



1. CH₃COOH(ac)/(l) 2. H₂CO₃(ac) 3. HNO₃(ac)/(l)
Gráfica 5A. Identificación de los ácidos fuertes o débiles



1. NaOH(s) 2. NH₃(g) 3. NaH(s)
Gráfica 5B. Identificación de las bases fuertes o débiles

ESTADÍSTICAS CON
FALLA DE ORIGEN

De estos resultados deseamos destacar el porcentaje de cuestionarios en que los alumnos no dan una respuesta, sobre todo cuando se trata del hidruro de sodio para el que 35.1% de los alumnos no dieron una respuesta acerca de la fuerza de esta base. De los estudiantes que responden a la fuerza del hidruro de sodio, 47.4% de ellos consideran que es una base débil (el hidruro de sodio es una base fuerte). Si consideramos las respuestas de los alumnos sobre el hidruro de sodio de esta pregunta y de la pregunta 2, en que se indaga sobre su carácter ácido-base, creemos que queda casi claro que son pocos los alumnos que conocen este compuesto.

Para el ácido carbónico y el amoníaco no encontramos una diferencia apreciable en los porcentajes de las respuestas que señalen la fuerza de ese ácido y esa base. El 35.1% de los estudiantes piensan que el ácido carbónico es un ácido débil y 42.5% que es fuerte. Para el amoníaco el 49.1% de las respuestas señalan que es una base débil y el 33.3% que es fuerte.

Los ácidos y la base en los que observamos más respuestas correctas son: el ácido acético (64.0% de los alumnos dicen que es un ácido débil), el ácido nítrico (65.8% dicen que es un ácido fuerte) y el hidróxido de sodio (69.3% responden que es una base fuerte).

Solamente partiendo de estos resultados deducimos que los estudiantes tienen dificultades para identificar el carácter fuerte o débil de los ácidos y las bases. Es posible que si los alumnos no saben identificar ese carácter en un ácido o una base afecte al aprendizaje de otros conceptos relacionados con el tema de ácidos y bases (la naturaleza ácido-base de las sales disueltas).

Al revisar las respuestas dadas por los alumnos para justificar la fuerza de los ácidos y las bases, pensamos que sería mejor agrupar las justificaciones para los ácidos fuertes, los ácidos débiles, las bases fuertes y las bases débiles para construir cuatro redes por separado. Las cuatro redes que elaboramos poseen el mismo esquema:

- Tipo de compuesto
- Valor de pH
- Cesión de iones
- Descomposición
- Disociación/ionización
- Fuerza de especies conjugadas
- Valor de K
- Fuerza de enlaces
- Otras respuestas

De las respuestas presentes en estas redes deducimos qué idea tienen los alumnos sobre lo que es un ácido o una base fuerte o débil. Sin embargo, al pedir a los alumnos una justificación sobre la fuerza de cada especie, sabíamos que no necesariamente obtendríamos la característica del compuesto en la que se fijan los alumnos para saber si es un ácido o una base fuerte o débil, sino una mezcla de conceptos aprendidos en clase que ayudan a los estudiantes a construir una explicación creíble.

Ácidos fuertes y débiles

Suponemos que los alumnos que aluden a la descomposición se refieren a la capacidad de ese compuesto para disociarse, ionizarse o ceder iones. Si consideramos que estas tres respuestas se refieren más o menos a lo mismo, a la tendencia que puede tener un compuesto para ceder o aportar iones en una disolución, hallamos que es la explicación a la que más recurren los alumnos tanto para los **ácidos fuertes** (25.4% de las respuestas consideran que es un proceso total) como para los **débiles** (24.5% de los alumnos señalan que es un proceso que ocurre parcialmente).

Por lo menos para los ácidos débiles, la otra respuesta que tiene una cantidad apreciable de respuestas corresponde al tipo de compuesto (18.4%) y especialmente a que los ácidos orgánicos son débiles (16.7%). En cambio el 2.6% de los alumnos piensan que entonces los ácidos inorgánicos son fuertes.

Algunos de los alumnos consideran el valor, aunque no exacto, de las constantes de acidez para justificar que cada compuesto es un ácido fuerte(5.3%) o un ácido débil (6.1%). En el análisis de los libros de texto actuales, hemos observado que una parte de ellos justifican la fuerza de los ácidos basándose en los valores de las constantes de acidez.

Entre las demás respuestas que obtuvimos en los cuestionarios que no se caracterizan por aparecer una cantidad apreciable de veces, encontramos una serie de concepciones alternativas:

- ❖ *Los ácidos fuertes deben poseer un valor de pH muy pequeño, mucho menor de 7 (1.8%) y los ácidos débiles un valor de pH más cercano a 7 (0.9%). Recordemos que un cierto valor de pH no determina si se trata de un ácido fuerte o débil, ya que es un valor que además depende de la concentración.*
- ❖ *Los ácidos fuertes poseen enlaces cortos o un enlace fuerte entre el ión hidrógeno y el resto de la molécula (2.6%) y los ácidos débiles tienen enlaces débiles (1.8%). Estas respuestas las dan alumnos que intentan dar una explicación basada en la estructura del*

compuesto, sin darse cuenta que en realidad si el enlace es fuerte debería tratarse de un ácido débil y si el enlace es débil, de un ácido fuerte.

- ❖ *La especie conjugada de un ácido fuerte es débil (4.4%).* En cambio para los ácidos débiles, sólo el 1.8% de los alumnos saben que la especie conjugada de un ácido débil es una base débil.

Bases fuertes y débiles

Igual que con los ácidos fuertes y los ácidos débiles, el porcentaje más apreciable de respuestas de los alumnos se centra en la capacidad que tienen las bases para disociarse, ionizarse o ceder iones. El 25.5% de las respuestas de los alumnos consideran que las **bases fuertes** se disocian, ionizan o ceden iones totalmente; para las **bases débiles** el 18.5% de estudiantes dicen que estas bases se disocian, ionizan o ceden iones de forma parcial.

Otras de las justificaciones que más dan los alumnos son las que aluden al “tipo de compuesto” (sobre todo si es un hidróxido) y al valor de su constante de basicidad. El 10.5% de los alumnos responden que los hidróxidos son bases fuertes y en cambio para el 3.5% de ellos una base débil se caracteriza precisamente por la ausencia del grupo hidroxilo. En relación con las justificaciones que se refieren al valor de las constantes de basicidad (igual que aparece en algunos libros de texto) el 4.4% de los alumnos justifican que una base es fuerte por estos valores, al igual que lo hacen para la base débil (4.4%).

En las demás respuestas dadas por los alumnos, encontramos las siguientes concepciones alternativas:

- ❖ *Las bases fuertes tiene un valor de pH mucho mayor de 7 (1.8%) y las bases débiles un valor de pH más cercano a 7 (0.9%).*
- ❖ *La especie conjugada de una base fuerte es un ácido débil (2.6%) y la especie conjugada de una base débil es un ácido fuerte (0.9%).*
- ❖ *Los enlaces de una base fuerte son fuertes (1.8%).* Para las bases débiles, aun cuando el 3.5% de las respuestas aluden a la fuerza de los enlaces, la mitad consideran que los enlaces son fuertes y la mitad que son débiles.

PREGUNTA 5A. ¿QUÉ ES UN ÁCIDO FUERTE?

N=114
CONTESTAN=51.8%

- Tipo de compuesto - $\left\{ \begin{array}{l} \text{-HNO}_3 \langle 1.8\% \rangle \\ \text{-ácido inorgánico} \langle 2.6\% \rangle \end{array} \right.$
 $\langle 4.4\% \rangle$
- Valor de pH $\ll 7$
 $\langle 1.8\% \rangle$
- Cesión de iones - $\left\{ \begin{array}{l} \text{-cede todos los iones H}^+ \langle 1.8\% \rangle \\ \text{-en disolución acuosa - mucha tendencia a aportar iones H}^+ \langle 4.4\% \rangle \end{array} \right.$
 $\langle 7.0\% \rangle$
- Descomposición - $\left\{ \begin{array}{l} \text{-descomposición total} \langle 2.6\% \rangle \end{array} \right.$
 $\langle 2.6\% \rangle$
- Disociación/ ionización - $\left\{ \begin{array}{l} \text{-disociación total} \langle 12.3\% \rangle \\ \text{-ionización total} \langle 2.6\% \rangle \end{array} \right.$
 $\langle 15.8\% \rangle$
- Fuerza de especies conjugadas
 $\langle 4.4\% \rangle$
- Valor de K_a - $\left\{ \begin{array}{l} \text{-valor de } K_a \text{ - alto} \langle 5.3\% \rangle \\ \text{-no tiene constante de equilibrio} \langle 1.8\% \rangle \end{array} \right.$
 $\langle 7.9\% \rangle$
- Enlaces fuertes
 $\langle 2.6\% \rangle$
- Respuestas incoherentes
 $\langle 17.5\% \rangle$
- NC
 $\langle 48.2\% \rangle$

PREGUNTA 5A. ¿QUÉ ES UN ÁCIDO DÉBIL?

N=114
CONTESTAN=51.8%

	- Tipo de compuesto	- bicarbonato (1.8%)
	(18.4%)	- ácidos orgánicos (16.7%)
	- Valor de pH < 7	
	(0.9%)	
	- Cesión de iones	- en disolución acuosa - poca tendencia a aportar iones H ⁺ (4.4%)
	(6.1%)	- otras respuestas (1.8%)
	- Descomposición	- descomposición parcial (2.6%)
	(2.6%)	
		○ - disociación parcial (10.5%)
	- Disociación/ ionización	- ionización parcial (3.5%)
	(15.8%)	- otras respuestas (1.8%)
○	- Fuerza de especies conjugadas	
(66.7%)	(1.8%)	
	- Valor de K	- valor de K _a - bajo (2.6%)
	(6.1%)	- otras respuestas (2.6%)
	- Enlaces débiles	
	(1.8%)	
	- Respuestas incoherentes	- ácidos polipróticos (3.5%)
	(13.2%)	- está en disolución acuosa (1.8%)
		- otras respuestas (7.9%)
	- NC	
	(48.2%)	

PREGUNTA 5B. ¿QUÉ ES UNA BASE FUERTE?

N=114
CONTESTAN=48.2%

	- Tipo de compuesto	- contiene grupo hidroxilo (7.0%) - hidróxidos del grupo I y/o II (2.6%)
	- Valor de pH ≥ 7	(1.8%)
	- Cesión de iones	- en disolución acuosa - mucha tendencia a aportar iones OH^- (3.5%) (7.9%) (5.3%) - acepta iones H^+ (1.8%) - tiende mucho a aceptar iones H^+ (1.8%)
	- Descomposición	- descomposición total (1.8%) (1.8%)
C	-	- Disociación/ ionización
		- disociación total (11.4%) - desprende iones OH^- (1.8%) - ionización total (2.6%) (15.8%)
	- Fuerza de especies conjugadas	(2.6%)
	- Valor de K	- valor de K_b - alto (2.6%) (4.4%)
	- Enlaces fuertes	(1.8%)
	- Respuestas incoherentes	- tiene elementos del grupo I (4.4%) (16.7%) - otras respuestas (12.3%)
	- NC	(51.8%)

PREGUNTA 5B. ¿QUÉ ES UNA BASE DÉBIL?

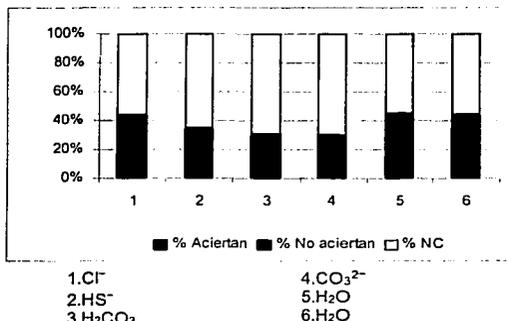
N=114

CONTESTAN=40.4%

- Tipo de compuesto - | -no contiene grupo hidroxilo (2.6%)
(3.5%)
- Valor de pH>7
(0.9%)
- Cesión de iones - | -en disolución acuosa - poca tendencia a aportar iones OH⁻ (1.8%)
(3.5%) | -otras respuestas (1.8%)
- Descomposición - | -descomposición parcial (1.8%)
(1.8%)
- Disociación/ ionización - | -disociación parcial (8.8%)
(13.2%) | -ionización parcial (2.6%)
| -otras respuestas (1.8%)
- Fuerza de especies conjugadas
(52.6%) (0.9%)
- Valor de K - | -valor de K_b - bajo (1.8%)
(4.4%) | -otras respuestas (1.8%)
- Enlaces - | -fuertes (1.8%)
(3.5%) | -débiles (1.8%)
- Respuestas incoherentes
(21.1%)
- NC
(59.6%)

Pregunta 6. Ácidos y bases conjugados

En esta pregunta pedíamos que los alumnos dieran la especie conjugada y dijeran si se trataba del ácido o la base conjugada. En la gráfica 6 aparecen los porcentajes de respuestas correctas de los alumnos al dar la especie conjugada.



Gráfica 6. Porcentaje de aciertos al determinar las especies conjugadas.

En esta pregunta intentábamos descubrir si los alumnos dominaban un concepto fundamental de la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry, que son las especies conjugadas. Dejamos abierta la pregunta para que los alumnos pudieran dar libremente la respuesta que creían conveniente.

De los resultados obtenidos llama la atención ver en la gráfica 6 un porcentaje apreciable de alumnos que no dan una respuesta para todas las especies, el valor menor es del 55.3%. A pesar de la cantidad tan baja de respuestas que obtuvimos, utilizamos lo que habían respondido los alumnos para intentar elucidar cuál podía ser el mecanismo que empleaban para determinar dos cosas: cómo obtienen la especie conjugada y cómo identifican el ácido o la base conjugados. Es importante aclarar que en ninguno de los cuestionarios los alumnos hacen referencia al proceso de obtención de la especie conjugada, ellos únicamente dan la especie conjugada y determinan si esa especie obtenida es el ácido o la base conjugada de la original.

Partiendo de las respuestas, que fuimos construyendo a partir de las que dieron los alumnos en el cuestionario, armamos las tres redes sistémicas de la siguiente forma:

- Transferencia de iones H^+
- Otras transferencias (de electrones)
- Otras respuestas

En la red en que especificamos cómo es que los alumnos obtienen la especie conjugada, dentro de la categoría de *transferencia de iones H^+* , incluimos los casos de estudiantes que podíamos identificar que conocen la estrategia de añadir o quitar uno o varios iones H^+ de la especie de la que parten. Para las otras dos redes, la de la identificación del ácido conjugado y la de la base conjugada, en esta categoría consideramos las respuestas que mostraban si la especie conjugada tenía un ión H^+ de menos o de más en comparación con la especie original.

La siguiente categoría presente en las redes es la de *otras transferencias*, que en realidad hacen referencia a transferencias electrónicas, pero esto en realidad sólo lo hizo un alumno.

En *otras respuestas*, incluimos las respuestas que no pudimos incluir en una categoría específica pero que nos daban información sobre las ideas de los alumnos con relación a los pares conjugados ácido-base.

Cómo obtener la especie conjugada

Al revisar la red sobre cómo obtienen los estudiantes la especie conjugada, lo primero que llama la atención es ver la baja proporción de alumnos que responden. Destacamos que a pesar que el 36.8% de los alumnos saben que la manera de obtener la especie conjugada se basa en añadir o quitar protones, el 15.8% no parece saber que los pares conjugados se diferencian por un solo ión hidrógeno.

Un 18.4% de los alumnos que dieron la especie conjugada para el ión sulfuro, añadieron dos protones desde un principio, obteniendo el ácido sulfhídrico (H_2S), en vez del ión HS^- . Parecería que los estudiantes creen que la especie conjugada debe tener una carga neutra, o por lo menos, una carga distinta a la de su especie conjugada.

Para el ión hidrogeno carbonato, que es una especie anfiprótica, se hubiera esperado que los alumnos pusieran las dos especies (el ácido y la base conjugada), pero sólo el 23.7% lo hizo. Creemos que ha habido algún problema con las especies anfipróticas, ya que también vimos que con el ión hidronio y el ión hidróxido el 7.0% de los alumnos consideraron que las especies

conjugadas eran una entidad química que podríamos considerar como el "contrario": OH^- para H_3O^+ y H_3O^+ para OH^- . Hay que destacar que aunque en la pregunta de ácidos y bases de Arrhenius el 13.2% de los alumnos reconocieron que el agua es ácida y básica (es "anfótera"), luego para el carbonato ácido no pudieron pensar que también es una especie anfiprótica. Para el ión hidronio y el ión hidróxido es posible que haya creado confusión en los estudiantes que el agua terminara siendo ácida y básica al mismo tiempo.

Respecto a las otras dos redes sistémicas correspondientes a esta pregunta, sólo podemos destacar que el 14.0% de los alumnos consideraron que el ácido conjugado debía ser una especie que no tuviera carga, aunque tuviera dos protones más que su base correspondiente.

La determinación de los pares conjugados en una reacción ácido-base, forma parte de la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry, es una aplicación de ésta. Del análisis de esta pregunta podemos concluir que hay ocasiones en que los alumnos no saben emplear los conocimientos y sólo emplean la memoria para enunciar las definiciones. Es probable que algunos de los alumnos no lleguen a comprender que la teoría de Brønsted-Lowry trata de la transferencia de protones entre especies, lo que se ve reflejado al determinar los pares ácido-base conjugados.

PREGUNTA 6. ¿CÓMO OBTENGO LA ESPECIE CONJUGADA?

N=114

CONTESTAN=40.4%

0 — <70.2%>	— Transferencia de iones H^+ — <36.8%>	—añadiendo o quitando— <35.1%>	—un ión H^+ <19.8%> —uno o más iones H^+ <15.8%>
	— Otras transferencias — <0.9%>	—añadiendo o quitando un electrón <0.9%>	
	— Otras respuestas — <32.5%>	—son las especies de las que se forman <0.9%> —al H_3O^+ quitarle un ión H^+ <0.9%> —es el contrario, $H_3O^+ \leftrightarrow OH^-$ <7.0%> —no quitar y poner un ión H^+ a la misma especie HCO_3^- <23.7%>	
	— NC <59.6%>		

PREGUNTA 6. ¿CÓMO SE CUÁL ES EL ÁCIDO CONJUGADO?

N=114
CONTESTAN=32.5%

- (32.5%)
- Transferencia de iones H^+ —
 - tiene un ión H^+ de más (15.8%)
 - tiene uno o dos iones H^+ más (la especie sin carga) (14.0%)
 - Otras transferencias —
 - tiene un electrón más (0.9%)
 - Otras respuestas —
 - es la especie H_3O^+ (0.9%)
 - es el ión H^+ (0.9%)
 - NC
- (67.5%)

PREGUNTA 6. ¿CÓMO SE CUÁL ES LA BASE CONJUGADA?

N=114
CONTESTAN=34.2%

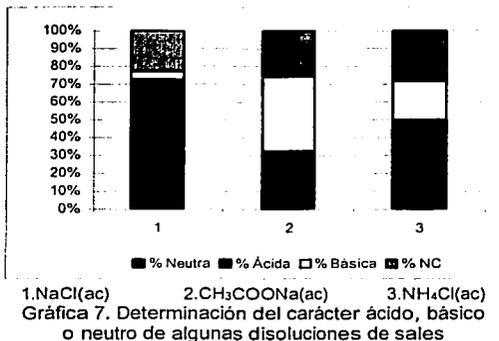
- (34.2%)
- Transferencia de iones H^+ —
 - tiene un ión H^+ de menos (31.6%)
 - Otra transferencia —
 - tiene un electrón de menos (0.9%)
 - Otra respuesta —
 - es la especie OH^- (0.9%)
 - Respuesta incoherente —
 - tiene uno o dos iones de más o de menos (0.9%)
 - NC
- (65.8%)

Pregunta 7 ¿Por qué son ácidas, básicas o neutras las disoluciones acuosas de estas sales?

A continuación presentamos la tabla y la gráfica 7 en las que aparecen los porcentajes de los resultados presentados por los alumnos (neutra, ácida, básica y no contestan) sobre el carácter ácido-básico que tienen las disoluciones de ciertas sales.

	%Neutra	%Ácida	%Básica	%NC
NaCl(ac)	62.3	10.5	4.4	22.8
CH ₃ COONa(ac)	15.8	16.7	42.1	25.4
NH ₄ Cl(ac)	3.5	46.5	21.9	28.1

Tabla 7. Porcentajes de respuestas al carácter ácido, básico o neutro de algunas disoluciones de sales. Las respuestas consideradas correctas están en negrita.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Lo primero que quisiéramos destacar de los resultados que vemos en la gráfica y en la tabla 7, es que para las tres sales, más del 20% de los alumnos no responden a esta pregunta. Es curioso que tratándose de un tema tan importante para la resolución de algunos de los problemas que aparecen en el examen de selectividad (un examen de ingreso a la universidad), haya de un 20 a un 30% de alumnos que no contesten a la pregunta.

Para el cloruro de sodio el 62.3% de alumnos reconocen que esta sal en disolución acuosa da una disolución neutra. Es posible que muchos de los alumnos reconocen que el cloruro de sodio es lo mismo que la sal de mesa, así que pueden pensar que al disolverla debe dar una disolución neutra, ya que no hace daño al organismo al ingerirla.

Fijándonos en los porcentajes de las respuestas para las tres sales, hallamos que el acetato de sodio y el cloruro de amonio son las sales de las que los alumnos conocen menos la naturaleza ácido-base de su disolución.

Al hacer una revisión de las respuestas dadas por los alumnos, decidimos separar las respuestas que justificaban cada uno de los posibles caracteres de la disolución (ácida, básica y neutra) y construir la red con el siguiente esquema de categorías:

- Tipo de compuesto
- Obtención de sus iones
- Proviene de –

–la sal del ácido y/o la base
–los iones de...
- Hidrólisis
- Carácter ácido-básico de los iones
- Otras respuestas

Al revisar las redes de las tres sales hallamos que la categoría que tiene el porcentaje más alto de respuestas, dentro del carácter ácido-base correcto para cada compuesto, corresponde a la estrategia que consiste en saber la **fuerza del ácido y la base de la que “proviene” la sal** (30.7% al decir que la disolución del NaCl es neutra, 21.1% que la disolución del CH₃COONa es básica y también 21.1% si la del NH₄Cl es ácida). Ya hemos señalado que los alumnos tienen dificultades para reconocer un ácido o una base fuerte o débil, por lo que quizá memorizan la naturaleza ácido-base de las disoluciones de algunas de las sales más comunes.

Otra de las posibles explicaciones que pensábamos que usarían los alumnos en esta pregunta se basa en que ellos conozcan el **carácter ácido-básico de los iones** que componen la sal. Este razonamiento no es el más empleado por los alumnos (3.5% al justificar que la disolución del NaCl es neutra, 7.0% si la disolución de CH₃COONa es básica y 8.8% si la del NH₄Cl es ácida). Las respuestas obtenidas para el cloruro de sodio casi no consideran el carácter ácido-base de los iones (3.5% si es neutra y 0.9% si la disolución es ácida), el 30.7% de los alumnos justifican su respuesta tomando en cuenta la fuerza del ácido y la base de los que “proviene” la sal. Para el acetato de sodio y el cloruro de amonio hallamos un porcentaje un poco más elevado de respuestas que se refieren al carácter ácido-base de los iones, en comparación con el cloruro de sodio. Esto llama la atención si recordamos que en la pregunta sobre la fuerza de los ácidos y las bases, el 64% de los alumnos

consideran que el CH_3COOH es un ácido débil y el 49.1% que el NH_3 es una base débil. Podemos deducir que es posible que algunos de los alumnos que conocen la fuerza del ácido acético y del amoníaco justifiquen esta pregunta reconociendo el carácter ácido-base de los iones del acetato de sodio y el cloruro de amonio.

La otra estrategia que esperábamos emplearían los alumnos se basa en la **“hidrólisis” de los iones** que componen la sal. A pesar de no ser una de las explicaciones más empleadas en estos cuestionarios (3.5% si la disolución de NaCl es neutra, 2.6% si la del CH_3COONa es básica y 3.5% si la del NH_4Cl es ácida), llama la atención que entre las respuestas que consideran que los iones presentes en la sal se hidrolizan o no, aparezcan concepciones erróneas muy comunes cuando se trata de la fuerza de las especies conjugadas. Las concepciones presentes en esta pregunta son: “un ácido o base fuerte da lugar a una especie conjugada débil” y “la especie conjugada de un ácido o una base débil es fuerte”.

PREGUNTA 7. ¿POR QUÉ ES ÁCIDA, BÁSICA O NEUTRA UNA DISOLUCIÓN DE NaCl?

N=114

CONTESTAN=51.8%

		Proviene de — — la sal, del ácido $\frac{y}{o}$ la base — — del ácido (1.8%) (1.8%)
- Ácida (7.9%)	○	Hidrólisis (0.9%)
		Carácter ácido/básico de los iones (0.9%)
		Respuestas incoherentes (4.4%)
- Básica (0.9%)		Respuestas incoherentes (0.9%)
		Tipo de compuesto — — es una sal (2.6%) (2.6%)
	○	Obtención de sus iones (9.6%)
- Neutra (56.1%)	○	Proviene de — — la sal, del ácido $\frac{y}{o}$ la base — — del ácido fuerte (HCl) + base fuerte NaOH → neutro (20.2%) (20.2%)
		los iones de — — el Na ⁺ del NaOH una base fuerte y el Cl ⁻ del HCl un ácido fuerte (10.5%) (10.5%)
		○
		el Cl ⁻ viene de HCl — ácido fuerte, su base conjugada es débil y no se hidroliza (1.8%) (1.8%)
		Carácter ácido/básico de los iones — — los iones Na ⁺ y Cl ⁻ no tienen carácter ácido ni básico (3.5%) (3.5%)
		Respuestas incoherentes (6.1%)
- NC (48.2%)		

PREGUNTA 7. ¿POR QUÉ ES ÁCIDA, BÁSICA O NEUTRA UNA DISOLUCIÓN DE CH₃COONa?

N=114

CONTESTAN=50.0%

		<ul style="list-style-type: none"> -Obtención de sus iones (0.9%) -Proviene de - la sal, del ácido (0.9%) (0.9%)
- Ácida (11.4%)	<ul style="list-style-type: none"> -Hidrólisis (1.8%) -Carácter ácido/básico de los iones - el Na⁺ es una base débil (0.9%) (1.8%) -Respuestas incoherentes (6.1%) 	
		<ul style="list-style-type: none"> -Obtención de sus iones (2.6%) -Proviene de - la sal, del ácido $\frac{y}{o}$ la base - del ácido débil (CH₃COOH) y base fuerte (NaOH) (20.2%) (20.2%) -los iones de - el Na⁺ de una base fuerte y no reacciona con el H₂O (0.9%) (0.9%)
- Básica (38.6%)	<ul style="list-style-type: none"> -Hidrólisis (2.6%) <ul style="list-style-type: none"> -el CH₃COO⁻ viene de un ácido débil, por eso es fuerte - se hidroliza (1.8%) (1.8%) -el Na⁺ viene del NaOH que es fuerte, por eso es débil - no se hidroliza (0.9%) (0.9%) -Carácter ácido/básico de los iones - Na⁺ neutro, CH₃COO⁻ base (0.9%) (0.9%) -gana iones H⁺ - los iones CH₃COO⁻ (4.4%) (4.4%) -Respuestas incoherentes (5.3%) 	<ul style="list-style-type: none"> -se obtienen iones OH⁻ (1.8%) (1.8%)
		<ul style="list-style-type: none"> -Tipo de compuesto - es una sal (2.6%) (2.6%)
- Neutra (10.5%)	<ul style="list-style-type: none"> -Proviene de - la sal, del ácido $\frac{y}{o}$ la base - del CH₃COOH y del NaOH (1.8%) (1.8%) -Respuestas Incoherentes (6.1%) 	
- NC (50.0%)		

PREGUNTA 7. ¿POR QUÉ ES ÁCIDA, BÁSICA O NEUTRA UNA DISOLUCIÓN DE NH_4Cl ?

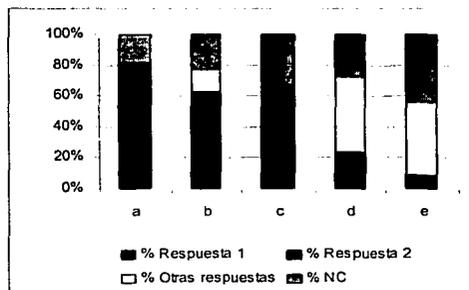
N=114

CONTESTAN=46.5%

	<ul style="list-style-type: none"> Obtención de sus iones (2.6%)
	<ul style="list-style-type: none"> Proviene de — la sal, del ácido $\frac{y}{o}$ la base — de ácido fuerte (HCl) y base débil (NH_3) (20.2%) (21.1%)
Ácida (41.2%)	<ul style="list-style-type: none"> Hidrólisis — el NH_4^+ viene de una base débil — el ácido conjugado es fuerte — se hidroliza (1.8%) (3.5%) — el Cl^- viene de un ácido fuerte — la base conjugada es débil — no se hidroliza (1.8%) — NH_4^+ ácido, Cl^- neutro (0.9%) — el Cl^- es una base débil (1.8%) — se obtienen iones H_3O^+ (1.8%) — cede iones H^+ (4.4%) Carácter ácido/básico de los iones (8.8%) Respuestas incoherentes (6.1%)
Básica (11.4%)	<ul style="list-style-type: none"> Obtención de sus iones (0.9%) Proviene de — la sal, del ácido $\frac{y}{o}$ la base — del amoníaco (1.8%) (2.6%) — de un ácido débil y una base fuerte (0.9%) Carácter ácido/básico de los iones (1.8%) Respuestas incoherentes (6.1%)
Neutra (3.5%)	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de compuesto — es una sal neutra (0.9%) (0.9%) Proviene de — la sal, del ácido $\frac{y}{o}$ la base — de base fuerte y ácido fuerte (0.9%) (0.9%) Respuestas incoherentes (1.8%)
NC (53.5%)	

Pregunta 8 ¿Cómo identificar una reacción ácido-base?

En la gráfica 8A mostramos los porcentajes de respuestas correctas dadas por los alumnos sobre los productos que se obtienen en las reacciones y en la tabla y en la gráfica 8B aparecen los porcentajes de respuestas (sí, no y no contestan) de los alumnos acerca de si las reacciones que aparecen en esta pregunta son o no reacciones ácido-base.



- a) 1. NaCl + H₂O
 b) 1. CaSO₄ + H₂O
 c) 1. NaCl + CO₂ + H₂O
 2. H₂CO₃ + NaCl
 d) 1. ZnCl₂ + H₂
 e) 1. NaOH + H₂

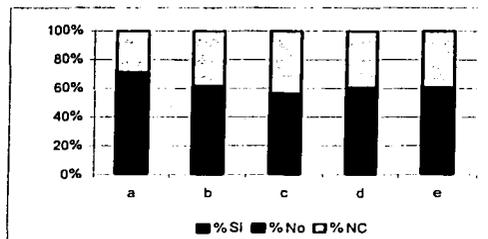
Gráfica 8A. Porcentaje de respuestas correctas sobre los productos que se obtienen en las reacciones.

ANÁLISIS CON FALLA DE ORIGEN

	%Sí	%No	%NC
a) HCl(ac) + NaOH(ac) →	63.2	7.9	28.9
b) H ₂ SO ₄ (ac) + CaO(ac) →	46.5	14.9	38.6
c) HCl(ac) + Na ₂ CO ₃ (ac) →	20.2	36.0	43.9
d) HCl(ac) + Zn(s) →	12.3	48.2	39.5
e) Na(s) + H ₂ O(l) →	16.7	43.9	39.5

Tabla 8B. Porcentaje de respuestas sobre cuáles de las siguientes reacciones son ácido-base. Las respuestas consideradas correctas están en negrita.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



- a) $\text{HCl(ac)} + \text{NaOH(ac)} \rightarrow$
 b) $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{ac}) + \text{CaO(ac)} \rightarrow$
 c) $\text{HCl(ac)} + \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{ac}) \rightarrow$
 d) $\text{HCl(ac)} + \text{Zn(s)} \rightarrow$
 e) $\text{Na(s)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow$

Gráfica 8B. Identificación de reacciones ácido-base

El 81.6% de los alumnos saben que en la reacción entre ácido clorhídrico e hidróxido de sodio se produce cloruro de sodio y agua. Es posible que estos alumnos conozcan muy bien esta reacción, ya que es uno de los ejemplos más utilizados por los profesores y en los libros de texto al tratar las reacciones ácido-base o de neutralización. Para la reacción entre el ácido sulfúrico y el óxido de calcio disminuye el porcentaje de alumnos que dan la respuesta correcta (62.3% que dicen se produce sulfato de calcio y agua); las otras respuestas obtenidas, que corresponden al 14.9% de los alumnos, dicen que se produce sulfato de calcio y el ión hidróxido.

Para la tercera reacción, entre el ácido clorhídrico y el carbonato de sodio, el 9.6% de los alumnos saben que en una reacción ácido-base en la que interviene un carbonato se produce dióxido de carbono, una sal y agua (las respuestas de los alumnos decían que se produce NaCl , CO_2 y H_2O). El 56.1% de los alumnos al responder hicieron la transferencia de protones entre los reactivos escribiendo como productos cloruro de sodio y ácido carbónico.

Aunque pensábamos que las últimas dos reacciones serían bien conocidas por los alumnos, al observar los porcentajes de respuestas correctas, vemos que para los estudiantes es difícil determinar los productos de una reacción óxido-reducción. Sólo el 23.7% de los alumnos aciertan al dar los productos de la reacción entre el ácido clorhídrico y el cinc (ZnCl_2 y H_2) y el 27.2% dan otras respuestas. Para la última reacción, del agua con sodio metálico, sólo el 8.8% de los alumnos logran dar la respuesta correcta (NaOH y H_2) y el 43.9% dan otras respuestas diferentes.

No deja de sorprendernos la cantidad apreciable de cuestionarios en que los alumnos no han dado una respuesta. El porcentaje más alto de alumnos que no contestan, si las reacciones son o no ácido-base, es del 43.9% (para la reacción entre el ácido clorhídrico y el carbonato de sodio). En la

gráfica 8B podemos observar que la reacción más reconocida por los alumnos, como una reacción ácido-base, es la que ocurre entre el ácido clorhídrico y el hidróxido de sodio (63.2%) y la menos reconocida es la del ácido clorhídrico con el carbonato de sodio (20.2%).

De acuerdo con las respuestas que recogimos de los cuestionarios pretendíamos saber en qué se basan los alumnos para reconocer las reacciones ácido-base y decidimos que las categorías que compondrían la red sistémica de esta pregunta serían:

- Reactivos
- Productos
- Reactivos y productos
- Tipo de reacción

De la red sistémica deducimos que el 27.2% de los alumnos reconocen las reacciones ácido-base por los productos que se obtienen. Incluidas en estas respuestas, el 13.2% de los alumnos piensan que esos productos son una sal y agua, que se considera como el modelo de Arrhenius para las reacciones de neutralización. El resto de las respuestas se dividen entre aquellos alumnos que reconocen la producción de cloruro de sodio y agua, únicamente el agua o incluso iones hidrógeno e hidróxido.

Un porcentaje apreciable de alumnos (15.8%) dice basarse en los reactivos y los productos para identificar una reacción ácido-base. De estos alumnos únicamente el 3.5% piensa que también la reacción entre el ácido clorhídrico y el carbonato de sodio es una reacción ácido-base. El 7.0% de los alumnos sólo considera los reactivos y productos de las dos primeras reacciones (ácido clorhídrico con hidróxido de sodio y ácido sulfúrico con óxido de calcio).

Al igual que sólo el 9.6% de los alumnos respondió que los productos de la reacción entre el ácido clorhídrico y el carbonato de sodio son una sal, dióxido de carbono y agua, también son muy pocos los que consideran que esta reacción puede ser considerada como ácido-base. De ello deducimos que los alumnos además de que no conocen el modelo de reacción de los carbonatos con un ácido (que producen una sal, CO_2 y H_2O), tampoco consideran que el carbonato de sodio es una base. El 2.6% de las respuestas incluye al Na_2CO_3 cuando dicen reconocer una reacción entre un ácido y una base por sus reactivos.

Tal como aparece en la mayor parte de los libros analizados, en los que las reacciones de neutralización y las reacciones ácido-base se consideran equivalentes, para el 5.3% de los alumnos las reacciones de neutralización y las ácido-base son equivalentes. Sin embargo, aun cuando no

aparece en la red sistémica, el 5.3% de estudiantes que dan una justificación piensan que las reacciones de neutralización y las ácido-base no son lo mismo. En estas últimas respuestas, los alumnos consideraban que algunas de las reacciones no podían ser ácido-base porque ya eran reacciones de neutralización.

Aunque esperábamos que los alumnos también utilizaran el modelo de transferencia protónica de Brønsted-Lowry en las reacciones entre ácidos y bases, únicamente el 3.5% de ellos cree que una reacción ácido-base se caracteriza por una transferencia de protones entre una especie que cede el protón y otra que lo capta. La mayor parte de los alumnos emplean el modelo de reacciones ácido-base de Arrhenius en que un ácido y una base producen una sal y agua.

PREGUNTA 8B. ¿CÓMO IDENTIFICAR UNA REACCIÓN ÁCIDO-BASE?

N=114

CONTESTAN=60.5%

C - (63.2%)	- Reactivos (12.3%)	- ácido + base (10.5%)	- HCl + NaOH (2.6%)	- HCl/H ₂ SO ₄ + NaOH/CaO (5.3%)	- HCl/H ₂ SO ₄ + NaOH/CaO/Na ₂ CO ₃ (2.6%)
		- otras respuestas (1.8%)			
		- H ₂ O (4.4%)			
		- una sal (1.8%)			
	- Productos (27.2%)	- NaCl + H ₂ O (1.8%)			
		- una sal + H ₂ O (13.2%)			
		- iones H ⁺ /OH ⁻ (3.5%)			
		- especies conjugadas (2.6%)			
	- Reactivos y Productos (15.8%)	- ácido + base → productos (14.0%)	- HCl + NaOH → NaCl + H ₂ O (2.6%)	- HCl/H ₂ SO ₄ + NaOH/CaO → una sal + H ₂ O (7.0%)	- HCl/H ₂ SO ₄ + NaOH/CaO/Na ₂ CO ₃ → una sal + H ₂ O (3.5%)
		- pares conjugados - se obtienen ambos pares (1.8%)			
- Tipo de reacción (8.8%)	- reacción ácido - base = reacción de neutralización (5.3%)				
	- transferencia del ión H ⁺ - una especie lo cede y la otra lo capta (3.5%)				
- NC (39.5%)					

Pregunta 9. Relación entre los procesos cotidianos y los conceptos ácido-base.

Por tratarse de una pregunta abierta, únicamente construimos las redes sistémicas en las que agrupamos las respuestas dadas por los alumnos. Queremos aclarar que en la recolección de estas respuestas, aunque la pregunta 9A está dividida en dos partes, finalmente no consideramos las respuestas sobre la reacción que se lleva a cabo al disolver la sal de uvas. Al revisar las respuestas dadas por los alumnos a la reacción que se lleva a cabo en la efervescencia, era muy difícil poder clasificarlas, algunos de los alumnos tuvieron incluso problemas para escribir las fórmulas de los compuestos. El resto de las ideas de los alumnos las clasificamos con los siguientes esquemas de categorías:

❖ Pregunta 9A

–Hay una reacción

–Producción de gas

–se desprende gas

–en la disolución

–a partir de las sustancias solas

–Otras respuestas

❖ Pregunta 9B

–Respuestas generales

–Efecto del aumento de la temperatura

–Se desprende gas

–Se desprende CO_2

–Se desprende otro gas

–Otras respuestas

❖ Pregunta 9C

–Respuestas generales

–Ácido + base

–Bicarbonato de sodio + otras cosas

–Ácido acetilsalicílico + otras cosas

–Otras respuestas

Pensamos que obtuvimos tan pocas respuestas de los alumnos (56.1% para la efervescencia de la sal de uvas, 40.4% para la razón por la que sube la masa de un pastel y 58.8% para las sustancias que contiene la aspirina efervescente) quizá por ser la última pregunta del cuestionario o porque muy

pocos de ellos alcanzan a encontrar o a conocer la relación que hay entre lo que aprenden en clase y los procesos de su vida cotidiana.

¿A qué se debe la efervescencia de la sal de uvas?

El 39.5% de los alumnos saben que se produce un gas, aunque prácticamente ninguno de ellos aclara que es por una reacción ácido-base, aún cuando se proporcionaban las dos especies. Nosotros pensamos que ayudaría que esta pregunta estuviera justo después de otra donde se trataban las reacciones ácido-base.

En la categoría producción de gas, el 23.7% de los alumnos simplemente especifican el gas que se obtiene, siendo el 12.3% de ellos que responden que se produce CO_2 . La otra respuesta a la que recurren los alumnos es a la producción de gas, pero partiendo de carbonatos o del bicarbonato de sodio (10.5%) que componen a la sal de uvas. No podemos saber si con esta respuesta se refieren a que los carbonatos solos dan lugar a la formación del gas (aunque nosotros así lo creemos) y por eso no mencionan que hay una reacción ácido-base en la que interviene otra sustancia.

En otras respuestas incluimos todas aquellas que no daban una explicación a este fenómeno químico como puede serlo la respuesta de un alumno: "los electrones del OH^- provocan la efervescencia".

Tomando en consideración las respuestas dadas por los alumnos a la reacción entre ácido clorhídrico y carbonato de sodio, de la pregunta anterior, queda patente que pocos de los alumnos saben de la producción de dióxido de carbono en las reacciones entre carbonatos o bicarbonatos y algún ácido.

¿Por qué sube la masa de un pastel?

En la pregunta 9B disminuye más el porcentaje de alumnos que la responden (40.4%), en relación con el apartado anterior (9A 56.1%). Un 22.0% de las respuestas hacen alusión a la producción de algún gas (5.3% dicen que se produce un gas, 14.9% que se produce CO_2 y 1.8% que se desprende H_2).

Sólo el 3.5% de los alumnos saben que la función de la levadura química es la producción de dióxido de carbono al reaccionar sus componentes (ácido tartárico y bicarbonato de sodio) para hacer subir la masa. Incluso por las respuestas que dieron estos estudiantes (3.5%) creemos que ellos pensaban que no se preguntaba por la levadura química sino por la levadura biológica (estos

alumnos mencionan la fermentación); estas respuestas las clasificamos como *respuestas generales*, porque no estamos seguros que realmente esos alumnos tengan la idea que la levadura química y la biológica no son lo mismo.

¿Qué sustancias tiene la aspirina efervescente?

En el bajo porcentaje de respuestas (58.8%), hallamos que el 17.6% de los alumnos creen que la aspirina efervescente debería contener un ácido y una base. Son pocos los estudiantes que especifican que la base debería ser un carbonato o un bicarbonato y un ácido (11.4%). Una cantidad apreciable de respuestas (21.9%) se centra en decir que la aspirina efervescente contiene ácido acetilsalicílico solo mientras que 14.9% de los estudiantes consideran que debe tener algún otro compuesto que permita haya efervescencia.

Comparando la cantidad de respuestas obtenidas en la primera pregunta sobre la aspirina y en esta última, vemos que no obtuvimos la misma cantidad de respuestas que señalan que la aspirina contiene ácido acetilsalicílico (50.0% en la pregunta 1 y 36.8% en ésta).

PREGUNTA 9B. ¿POR QUÉ SUBE LA MASA?

N=114
CONTESTAN=40.4%

	-	Respuestas generales		
		(3.5%)		
	-	Efecto del aumento de la temperatura	-	al calor (2.6%)
		(5.3%)	-	al aumento de la temperatura (1.8%)
	-	Se desprende gas	-	se desprende un gas (2.6%)
		(5.3%)	-	pasa a gas (1.8%)
	-	Se desprende CO ₂	-	se desprende CO ₂ (g) (7.0%)
40.4%		(14.9%)	-	uno de los componentes - desprende CO ₂ (g) (4.4%)
			-	por reacción - se produce CO ₂ (g) (3.5%)
	-	Se desprende otro gas	-	se produce H ₂ (g) (1.8%)
		(1.8%)		
	-	Otras respuestas		
		(13.2%)		
	-	NC		
		(59.6%)		

PREGUNTA 9C. ¿QUÉ SUSTANCIAS TIENE LA ASPIRINA EFERVESCENTE?

N=114

CONTESTAN=58.8%

	- Respuestas generales		
	<0.9%>		
	- Ácido + Base	- un ácido + una base <1.8%>	
		- ácido + carbonatos <2.6%>	
	- Bicarbonato de sodio + otras cosas		
	<6.1%>		
		- bicarbonato <4.4%>	
		- y un ácido <1.8%>	
<58.8%>	- Ácido acetilsalicílico + otras cosas	- ácido acetilsalicílico <21.9%>	
		- y otro ácido	- ácido cítrico <1.8%>
			- ácido carbónico <1.8%>
		<4.4%>	
	- alguna base <1.8%>		
	- y una base	- carbonatos	- carbonatos <1.8%>
	<8.8%>		- bicarbonato de sodio <5.3%>
		<7.0%>	
	- otras sustancias <1.8%>		
	- Respuestas incoherentes		
	<10.5%>		
	- NC		
	<41.2%>		

9. CONCLUSIONES

Conclusiones del análisis de las respuestas

A continuación enunciamos algunas conclusiones por preguntas de los resultados obtenidos después del análisis de las respuestas.

Pregunta 1 ¿Por qué son ácidos o básicos los siguientes productos domésticos?

Cuando los alumnos justifican el carácter ácido-base de un producto doméstico que conocen, hacen referencia a la sustancia que lo compone. Si se trata de un producto menos familiar para los alumnos, justifican ese carácter considerando sobre todo sus propiedades. Entre estas propiedades que enuncian los estudiantes, hay algunas que sí son características del componente principal de ese producto (saponifican las grasas, neutralizan los ácidos) y otras que no. Entre las propiedades más comunes a las que recurren los alumnos, están que los ácidos son: tóxicos, nocivos, corrosivos; y las bases son: inocuas, no dañan al organismo, son ingeribles.

Pregunta 2. ¿Por qué son ácidos o bases estos productos de laboratorio?

En la primera parte de esta pregunta además de indagar acerca de la naturaleza ácido-base de los productos de laboratorio, también lo hacíamos sobre los nombres de estos productos. Podemos concluir que cuando el producto es un ácido los alumnos tienen más facilidad para identificarlos, no sólo por su fórmula sino también por el nombre; en cambio con las bases ni el nombre ni la fórmula ayudan a los estudiantes a identificarlas, salvo los hidróxidos.

Si se pide a los alumnos que justifiquen el carácter ácido-base de algún compuesto, para los ácidos las respuestas mayoritariamente hacen referencia a los iones hidrógeno o hidronio que se obtienen a partir de ese compuesto (54.4%); y sobre todo utilizan la teoría ácido-base de Arrhenius (36.8%) y la de Brønsted-Lowry (38.6%). Al tratarse de compuestos básicos (sobre todo de hidróxidos) es evidente que son más los alumnos que justifican sus respuestas diciendo que se obtienen iones hidróxido (47.4%), que los que emplean distintas versiones de la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry (14.0%).

Pregunta 3 ¿Qué es un ácido o una base de acuerdo con la teoría de Arrhenius?

Las definiciones de ácidos y bases de Arrhenius que podríamos construir con las respuestas de los alumnos son: "un ácido es un compuesto que al estar en disolución acuosa da iones H^+ " y "las bases son compuestos que al estar en disolución acuosa dan iones OH^- ".

También podemos deducir que los alumnos tienen problemas para identificar y justificar por qué un compuesto no es una base de Arrhenius (las respuestas se limitan a que si el compuesto no tiene OH en su fórmula no da iones hidróxido); es decir que no conocen bien las limitaciones de la teoría de Arrhenius para los compuestos básicos.

Hay que considerar que implícitamente en una respuesta en la que el alumno señala que "se obtienen iones", él ha considerado (aunque quizá no conscientemente) que ese compuesto del que está hablando, contiene un cierto elemento o ión que permite se obtengan esos iones.

Pregunta 4 ¿Qué es un ácido o una base de acuerdo con la teoría de Brønsted-Lowry?

En esta pregunta intentábamos conocer qué piensan los alumnos que es un ácido y una base según la teoría de Brønsted-Lowry. De las respuestas obtenidas no logramos saber si los alumnos consideran que en esta teoría se incluye a los iones como posibles especies ácidas o básicas, así que sólo pudimos deducir las características que los estudiantes toman en cuenta para que una especie sea un ácido o una base de Brønsted-Lowry. Un ácido "cede iones H^+ " y una base "capta iones hidrógeno".

Pensamos que los estudiantes tienen menos problemas para considerar que los ácidos ceden iones hidrógeno porque creen que "para ceder algo hay que tenerlo". En el caso de las bases de Brønsted-Lowry, es más difícil aceptar que un ión se una a la especie básica y mucho más aún si los estudiantes tienen que dejar de pensar en los iones hidróxido como iones característicos de las bases.

Es comprensible que los alumnos no sepan que la teoría de Brønsted-Lowry se aplica a otros disolventes distintos al agua, ya que en clase es un concepto que no emplean casi nunca. Otro de los conceptos importantes de esta teoría que desconocen los alumnos, es que los ácidos y las bases son sólo las especies químicas que ceden o captan los protones, y hay casos como el del hidróxido de sodio que no es una base de Brønsted-Lowry, porque en realidad la especie básica es el ión hidróxido.

Pregunta 5 ¿Por qué los ácidos y las bases son fuertes o débiles?

Para los alumnos la determinación de la fuerza de un ácido o una base débil es un aprendizaje puramente memorístico (porque muy pocos alumnos dominan otros conceptos como la electronegatividad o la polaridad para poder determinarla). Cuando los alumnos deben dar una justificación sobre la fuerza de un ácido o una base, es común que hagan uso de los conceptos aprendidos en clase, aunque si no saben determinar si esa especie a la que se refieren es un ácido o una base fuerte o débil, la justificación no siempre es válida. Entre las justificaciones dadas por los alumnos hallamos dos tipos de respuestas: las que enuncian ciertas características de ese compuesto (es un cierto tipo de compuesto, posee enlaces con una fuerza específica) o en las que especifican las consecuencias de que esa especie sea débil o fuerte (se disocia parcial o totalmente).

Pregunta 6. Ácidos y bases conjugados

En la pregunta 4, en la que indagamos sobre las ideas que tienen los alumnos de lo que es un ácido y una base de Brønsted-Lowry, hallamos que muy pocos de los alumnos dominan que la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry se basa en la transferencia protónica entre especies. Si los alumnos parecen no conocer el modelo de transferencia protónica, es difícil que puedan deducir la especie conjugada de un ácido o una base y mucho más si se trata de una especie anfiprótica. En las respuestas de los alumnos observamos, al igual que lo hizo Schmidt (1995), que algunos alumnos creen que las especies del par conjugado deben tener cargas contrarias o, si es posible, que la especie conjugada sea neutra.

Pregunta 7 ¿Por qué son ácidas, básicas o neutras las disoluciones acuosas de estas sales?

Algunos de los problemas que tienen los alumnos para responder a esta pregunta también empiezan en el poco conocimiento de la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry. Si los alumnos no saben que esta teoría se basa en la transferencia protónica, tienen problemas para saber determinar las especies conjugadas. También podríamos concluir que si esos estudiantes no saben cómo identificar un ácido o una base fuerte o débil, es posible que esos alumnos no puedan saber si una sal al ser disuelta en agua da una disolución ácida, básica o neutra. Al hacer el análisis de χ^2 concluimos que estos dos conceptos son independientes (con un $\geq 95\%$ De certeza), es decir, que los alumnos no

necesitan saber si un ácido o una base son fuertes o débiles para inferir el carácter ácido-base de la disolución de una sal.

Algunos profesores y autores de libros de texto consideran que es más fácil predecir el carácter ácido o base de la disolución de una sal si los alumnos aplican la regla del ácido y la base de los que proviene la sal; sin embargo, si los estudiantes no pueden identificar los ácidos y bases fuertes y débiles, tendrán problemas usando esta estrategia, por sencilla que parezca. Desgraciadamente, sucede lo mismo con el razonamiento que consideramos más "correcto", en el que los alumnos deducen el carácter ácido-base de la disolución de una sal a partir del conocimiento de la fuerza como ácido y base de los iones que componen dicha sal, que infieren de la fuerza de sus especies conjugadas. En esta última estrategia es más probable que los alumnos tengan concepciones erróneas como: "la especie conjugada de un ácido o una base fuerte es débil"(en realidad es neutra) o "la especie conjugada de un ácido o una base débil es fuerte"(en realidad es débil).

Pregunta 8 ¿Cómo identificar una reacción ácido-base?

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta pregunta, pensamos que la mayoría de los alumnos identifican con más facilidad una reacción ácido-base por el modelo de Arrhenius (la producción de una sal y agua) que por el modelo de transferencia protónica, de Brønsted-Lowry. De los alumnos que se fijan en los reactivos para saber si es una reacción ácido-base, son muy pocos los que piensan que el carbonato de sodio también es un compuesto básico.

En relación con las reacciones que contienen carbonatos o bicarbonatos, también son muy pocos los alumnos que saben que los productos de esta reacción son una sal, agua y dióxido de carbono. Seguramente no poseen el esquema de reacción entre los carbonatos y algún ácido porque es un tema que prácticamente no aparece en los libros de texto.

Pregunta 9. Relación entre los procesos cotidianos y los conceptos ácido-base.

De esta pregunta, al igual que de la primera, se deduce la poca relación que establecen los estudiantes entre su vida cotidiana y lo que aprenden en sus clases de química. Si los alumnos ya tienen problemas para comprender lo que se enseña en clase es poco probable que ellos busquen una explicación química a aquellos fenómenos químicos que ven que suceden en su vida cotidiana y para los que ya tienen una explicación cotidiana.

Gracias a la pregunta anterior deducimos que son muy pocos los estudiantes que conocen el esquema de reacción de los carbonatos y bicarbonatos, y pudimos observarlo también con los resultados de esta pregunta. Son muy pocos los alumnos que piensan en la efervescencia como un proceso en el que se produce un gas y menos aún los que saben que ese gas que se produce es dióxido de carbono.

Otro tipo de efervescencia sobre el que indagamos en esta pregunta es el que ocurre en la masa de un pastel que "sube" porque en la reacción que ocurre entre los componentes de la levadura química se produce dióxido de carbono. En este caso los resultados son mucho menos alentadores, quizá porque en el pastel no se observa claramente la efervescencia producida, y mucho menos la producción de un gas.

Respecto a las sustancias que componen la aspirina efervescente, gran parte de los alumnos saben que contiene ácido acetilsalicílico pero muy pocos de ellos señalan que además debe contener una base. Sabiendo que los alumnos no conocen el esquema de reacción entre los carbonatos y un ácido, es poco probable que además piensen que la base presente en la aspirina debe ser un carbonato o un bicarbonato para que al disolverla se produzca dióxido de carbono, que es el responsable de la efervescencia.

Conclusiones generales

A continuación presentamos las conclusiones generales de este estudio:

- *Los estudiantes no relacionan los conceptos ácido-base aprendidos en clase con su vida cotidiana.*

Los alumnos sólo son capaces de reconocer la naturaleza ácido-base de los productos domésticos más comunes (aspirina, vinagre) y tienen dificultades para dar una explicación científica para los fenómenos químicos que observan en su vida diaria, para los cuales ya tienen una explicación cotidiana que les ayuda a entenderlos.

- *Hay más dificultades para identificar las bases que los ácidos.*

Los alumnos tienen más problemas para identificar las bases de los que tienen para hacerlo con los ácidos por varias razones:

- ❖ En la vida cotidiana se habla más de los ácidos y sus propiedades que de las bases (la gente cree que sólo los ácidos son corrosivos, irritantes, tóxicos).

- ❖ Estructuralmente no tienen una característica única como los ácidos, las bases pueden ser hidróxidos, carbonatos, óxidos, aminas.
- ❖ Desde el punto de vista de las teorías ácido-base de Arrhenius y de Brønsted-Lowry, los ácidos se caracterizan por la presencia de iones hidrógeno y para las bases de Arrhenius la característica principal es que aportan iones hidróxido y en cambio las bases de Brønsted-Lowry aceptan protones. Este cambio en la característica principal de las bases de una teoría a otra crea confusión en los estudiantes.

- *Los alumnos emplean más la teoría ácido-base de Arrhenius que la de Brønsted-Lowry para justificar la naturaleza ácido-base de una entidad química, especialmente las bases.*

La teoría ácido-base de Arrhenius es la primera teoría que se imparte a los alumnos y algunos de ellos consideran que no es necesario recordar también la teoría de Brønsted-Lowry (que se imparte después). A los estudiantes les basta saber que para la teoría de Arrhenius los ácidos contienen hidrógeno y por lo tanto dan iones hidrógeno en disolución acuosa; y que las bases contienen OH y/o son capaces de dar iones hidróxido en disolución acuosa. Si los estudiantes tienen que reconocer ácidos de acuerdo con la teoría de Brønsted-Lowry no hay muchas diferencias con la teoría de Arrhenius; a diferencia de las bases de Brønsted-Lowry que los alumnos han de saber si esa especie química es capaz de aceptar protones, es decir, que este concepto adquiere un carácter microscópico.

En relación con la teoría de Brønsted-Lowry, los alumnos no conocen todas sus aportaciones porque hay algunas que no necesitan usarlas en bachillerato.

- *Cuando los alumnos enuncian las definiciones de ácidos y bases de Arrhenius no hacen referencia a la disociación del compuesto en sus iones.*

A través de la historia se ha dejado de hacer mención en los libros de texto no sólo a la importancia de la teoría de la disociación electrolítica de Arrhenius, sino además a que los compuestos en disolución se disocian para dar iones. Esto contribuye a que los estudiantes no sepan que la disociación es el proceso mediante el cual un compuesto da iones en disolución y que crean que la aparición de estos iones simplemente ocurre.

- *Muy pocos alumnos toman en cuenta el modelo de transferencia protónica en las reacciones ácido-base.*

Una cantidad apreciable de alumnos considera que las reacciones ácido-base se caracterizan por la producción de una sal y agua, y según ellos aquellas reacciones que no cumplen este modelo no pueden considerarse reacciones ácido-base.

- *Se observa un Intercambio de términos entre las teorías ácido-base de Arrhenius y de Brønsted-Lowry.*

Nos parece interesante resaltar que al hacer el análisis de las respuestas dadas por los alumnos, hallamos un préstamo de términos (vocablos y verbos) entre las teorías de Arrhenius y Brønsted-Lowry. En la tabla I mostramos todos los términos que utilizan los estudiantes en cada teoría y en la tabla II los términos que se intercambian entre ambas teorías.

Al clasificar las respuestas de las preguntas en que se indaga sobre las teorías ácido-base de Arrhenius y de Brønsted-Lowry, encontramos que ocurre un "intercambio de términos" entre las dos teorías ácido-base revisadas en este estudio. Puede haber términos o frases que identificamos con la teoría ácido-base de Arrhenius y los alumnos los emplean dentro de la teoría de Brønsted-Lowry, y viceversa. Para hacer estas dos tablas consideramos los conceptos centrales de las dos teorías ácido-base:

❖ Arrhenius:

- proceso en disolución acuosa
- se obtienen iones H^+ / protones (aunque este último término lo identificamos con la teoría de Brønsted-Lowry, puede considerarse como que los alumnos lo utilizan refiriéndose a los iones hidrógeno)
- iones OH^-

❖ Brønsted-Lowry

- protones. Dice Pereira (1999) "La palabra protón pertenece a la teoría de Brønsted-Lowry"
- captar/ ceder
- iones H_3O^+

En la tabla II decidimos incluir la expresión de “tener iones H^+ ”, a pesar que la idea de “tenencia” de H pertenece en parte a una teoría anterior a la de Arrhenius. Davy es el primer autor que menciona que los ácidos contienen hidrógeno, sin embargo es Arrhenius el que menciona los iones hidrógeno. En la expresión antes citada observamos una mezcla de las dos teorías.

		ARRHENIUS	BRØNSTED-LOWRY
Acidos	<i>Tiene</i>	Tiene protones Contiene protones	Tiene H^+ Contiene H_3O^+
	<i>Se obtienen H^+</i>	Da iones H^+ Da protones Da lugar a H^+ Pierde H^+ Libera H^+ Libera protones Desprende protones/ H^+ Se obtienen H^+ Queda H^+ Forma iones H^+ Forma protones	Aporta H^+ Da H^+ Da protón Capaz de dar H^+ Desprende protones
	<i>Se obtienen H_3O^+</i>	H_3O^+ Desprende H_3O^+ Proporciona iones H_3O^+	Da H_3O^+ Forma H_3O^+
	<i>Cede</i>	Tiende a ceder protones Cede protones/ H^+	Cede protón
	<i>Capta</i>	Capta OH^- Capta protones	Capta OH^-
	<i>Capta electrones</i>		Reciben electrones Acepta electrones
Bases	<i>Tiene</i>	Tiene OH^-	
	<i>Se obtienen OH^-</i>	Da OH^- Da lugar a OH^- Libera OH^- Deja ir iones OH^- Desprende OH^- Proporciona iones OH^- Se obtienen OH^- Queda OH^- Forma OH^-	Da iones OH^- Libera OH^- Desprende OH^- Forma OH^-
	<i>Cede</i>	Cede OH^-	Cede OH^-

	<i>Capta</i>	Capta H ⁺ Reciben protones	Tiende a captar protones Gana H ⁺ Acepta protón Capta H ⁺ Capta protones
	<i>Cede electrones</i>		Dan electrones Cede electrones
Otros		Hidroliza Disocia Se descompone Disolución acuosa	Ionizado Se descompone Disolución acuosa Disuelto

Tabla I. Términos que utilizan los alumnos en cada teoría ácido-base

	TÉRMINOS DE B-L EN ARRHENIUS	TÉRMINOS DE ARRHENIUS EN B-L
Ácidos	Tiene protones Se obtienen iones H ₃ O ⁺ Se obtienen protones H ₃ O ⁺ Cede H ⁺ Cede protones Capta iones OH ⁻	Tiene iones H ⁺ Se obtienen iones H ⁺ Se obtienen protones Capta iones OH ⁻
Bases	Capta H ⁺ Capta protones	Se obtienen iones OH ⁻ Cede iones OH ⁻ Capta iones H ⁺
Otros		Disolución acuosa

Tabla II. Intercambio de términos entre las teorías

Uno de los intercambios de términos que observamos es la palabra "protón" que aparece en la frase "se obtienen protones" que escriben los alumnos para justificar que se trata de un ácido de Arrhenius. La "obtención" de iones corresponde a la teoría de Arrhenius, porque en la teoría ácido-base de Brønsted-Lowry los protones se transfieren (cediéndose o captándose), pero no "se obtienen".

Por contra, un concepto que se transfiere de la teoría de Arrhenius a la de Brønsted-Lowry es que para algunos alumnos el proceso de cesión o captación de H⁺ sólo ocurre en disolución acuosa. Quizá estos alumnos no acaban de asimilar que para la teoría de Brønsted-Lowry no es necesario que los iones estén en disolución acuosa para tener el carácter ácido-base que tienen. Basta que

una especie básica tenga una especie ácida enfrente, o al revés, para actuar como ácidos o como bases. Para Brønsted-Lowry, un ácido o una base siempre lo serán, la diferencia está en que sólo se comportan como tales cuando están ante una base o un ácido.

Propuestas

A continuación enunciamos algunas detalles en los que sería importante poner atención al impartir el tema ácido-base para mejorar su comprensión:

- Haría falta que en clase se estableciera una relación más estrecha entre la vida diaria de los alumnos y los conceptos aprendidos. De esta forma los alumnos serían capaces de reconocer la naturaleza ácido-base de los productos domésticos y podrían identificar los fenómenos químicos presentes en su vida diaria (como la efervescencia de algunos fármacos). Fomentar en ellos la curiosidad para buscar explicaciones a estos fenómenos químicos y para reconocer la naturaleza ácido-base de los productos domésticos a través de experiencias de laboratorio o averiguando los ingredientes de esos productos.
- Dar estrategias a los alumnos para ayudarles a reconocer los ácidos y las bases por su composición química y estructura.
- Hacer referencia al desarrollo histórico de las teorías ácido-base, que permitiría a los alumnos poder conocer el marco histórico de las teorías e ir conociendo cómo es que se desarrollaron cada una de estas.
- Poner énfasis en las limitaciones y aportaciones de cada una de las teorías ácido-base, para señalar que son dos teorías independientes. Recordar a los alumnos que la aportación más importante de Arrhenius fue su teoría de la disociación electrolítica y, por tanto, sólo a partir de la disociación es que un compuesto da iones en disolución acuosa.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. (1887) *Diccionario Enciclopédico Hispanoamericano de Literatura, Ciencias y Artes*. Montaner y Simón editores, Barcelona, tomo primero, pág. 285.
2. (1888) *Diccionario Enciclopédico Hispanoamericano de Literatura, Ciencias y Artes*. Montaner y Simón editores, Barcelona, tomo tercero, pág. 328.
3. Aleixandre, Vicente (1941) *Compendio de Química General*, Editorial Summa, Madrid, págs. 42, 73, 74.
4. Aliberas, J.; Gómez, R.; Rull, M.; Serra, A. (1997) *Química 1. Batxillerat*, Ed. Castellnou, Barcelona.
5. Aliberas, J.; Gómez, R.; Rull, M.; Serra, A. (1999) *Química 2. Batxillerat*, Ed. Castellnou, Barcelona.
6. Ary, D.; Cheser, L.; Razavieh, A. (1982) *Introducción a la investigación pedagógica*. Editorial Interamericana, México.
7. Babor, José A.; Lehman, Alejandro (1944) *Química General para centros superiores de enseñanza*, Manuel Marín editor, 3a. ed., Barcelona, págs. 286, 293-296.
8. Baddeley, G.; Schlessinger, G.G.; Sharpe, A.G., et al. (1970) *Química Moderna*, Ed. Alianza Universidad, Madrid.
9. Bailar, J.C.; Moeller, T.; Kleinberg, J. (1968) *Química básica*, Ed. Alhambra, Madrid, págs. 236, 237.
10. Bárcenas, S.; Calatayud, M. L.; Furió, C. (1997) Dificultades en el aprendizaje y en la enseñanza de las reacciones ácido-base. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 167-168.
11. Bardanca, M.; Nieto, M.; Rodríguez, M. C. (1993) Evolución de los conceptos ácido-base a lo largo de la enseñanza media. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 2, 125-129.
12. Bavink, B. (1954) *Introducción a la Química General*, Editorial Labor, 3a. ed., 2a reimp., Barcelona.
13. Best, J.W. (1974) *Cómo investigar en educación*. Ediciones Morata, 3a. ed., Madrid.
14. Blalock, H.M. (1978) *Estadística social*. Fondo de Cultura Económica, 2a. ed., México.
15. Blas, Luis (1942) *Agenda del Químico*, M. Aguilar editor, Madrid, pág. 353.
16. Bliss, J.; Monk, M.; Ogborn, J. (1983) *Qualitative Data Analysis for Educational Research*, Croom Helm, London.
17. Bonilla Mirat, Santiago (1902) *Tratado elemental de Química General*, Imprenta de la viuda e hija de Gómez Fuentenebro, Madrid, págs. 67, 69.
18. Brønsted, J.N. (1923) Einige bemerkungen über den Begriff der Säuren und Basen. *Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas*, 42, 718-728.

19. Caamaño, A. (1993) *Concepcions dels alumnes sobre la composició i estructura de la matèria i el canvi químic. Comprensió de les formes simbòliques de representació*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona.
20. Caamaño, A. (1999) La química en el bachillerato: nuevos contenidos QTS, pero los mismos conceptos. *Aula de Innovación Educativa*, 81, mayo, 35-39.
21. Caamaño, A. (2001) La enseñanza de la química en el inicio del nuevo siglo: una perspectiva desde España. *Educación Química*, 12, 1, 7-17.
22. Caamaño, A.; Obach, D.(1999) *Química. Batxillerat 2*, Ed. Teide, Barcelona.
23. Cady, H. P.; Elsey, H. M. (1928) A general definition of acids, bases and salts. *J. Chem. Educ.*, 5, 11, 1425-1428.
24. Carretero, M. (1997) *Constructivismo y educación*, Ed. Progreso, México, págs. 39-71.
25. Cros, D.; Amouroux, R.; Chastrette, M.; Fayol, M.; Maurin, M.; Leber, J. (1986) Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases. *European J. Sci. Educ.*, 8, 3, 305-313.
26. Cros, D.; Chastrette, M.; Fayol, M. (1988) Conceptions of second year university students of some fundamental notions in chemistry. *International Journal of Science Education*, 10, 3, 331-336.
27. De Jong, O. (1996) La investigación activa como herramienta para mejorar la enseñanza de la Química: nuevos enfoques. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, 3, 279-288.
28. De Manuel Torres, E. (1997). "Aprendizaje de los conceptos de ácido y de base en los niveles educativos primario y medio", en Jiménez, R. y Wamba, A.M. *Avances en didácticas de las ciencias experimentales*. Huelva: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva, 207-214.
29. De Manuel Torres, E.; Jiménez Liso, M. R.; Salinas López, F. (1998) Revisión bibliográfica sobre los conceptos de los alumnos relacionados con los procesos ácido-base. *Rev. Educ. Univ. Gr.*, 11, 61-72.
30. De Manuel Torres, E.; Jiménez, M.R. y Salinas, F. (1999) "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*. La Coruña: Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Coruña, 359-368.
31. De Manuel Torres, E.; Jiménez, M.R. y Salinas, F. (1999) "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*. La Coruña: Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Coruña, 369-377.
32. De Posada, J. M. (1996) Hacia una teoría sobre las ideas científicas de los alumnos: influencia del contexto. *Enseñanza de las ciencias*, 14, 3, 303-314.
33. De Vos, W.; Pilot, A. (2001) Acids and bases in layers: the stratal structure of an ancient topic. *J. Chem. Educ.*, 78, 4, 494-499.
34. Del Barrio, J. I.; Montejo, C. (1999) *Química. Ciències de la Naturalesa i la Salut. Batxillerat 2*, Ed. Cruïlla, Barcelona.

35. Driver, R. (1989) Students' conceptions and the learning of science. *Int. J. Sci. Educ.*, 11, S.1., 481-490.
36. Driver, R.; Asoko, H.; Leach, J.; Mortimer, E.; Scott, P. (1994) Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23, 7, 5-12.
37. Feliu y Pérez, Bartolomé (1896) *Nociones de Química General*, Tipografía de comas hermanos, 8ava. ed., Zaragoza, págs. 23.
38. Fisher, K. M.; Lipson, J. I. (1986) Twenty questions about student errors. *J. Reserch in Science Teaching*, 23, 9, 783-803.
39. Fornells, M.; Garcia, R. M.; López, V.; Miró, A.; Pérez, E.(1999) *Química 2. Crèdits IV, V i VI*, Ed. Brúixola, Barcelona.
40. Fortman, J. J. (1994) Pictorial analogies XI: concentrations and acidity of solutions. *J. Chem. Educ.*, 71, 5, 430-432.
41. Frey, Paul R. (1968) *Química Moderna*, Ed. Montaner y Simón, Barcelona, pág. 152.
42. Furió, C.; Furió, C. (2000) Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación Química*, 11, 3, 300-308.
43. Gabel, D. (2000) Theory-based teaching strategies for conceptual understanding of Chemistry. *Educación Química*, 11, 2, 236-243.
44. Garnett, P. A.; Garnett, P. A.; Hackling, M. W. (1995) Students' alternative conceptions in Chemistry: a review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
45. Garritz, A. (2000) De ideas previas y enseñanza de la química. *Educación Química*, 11, 2, 211-212.
46. Garritz, A. (2000) Más sobre ideas previas y enseñanza de la química. *Educación Química*, 11, 3, 291-292.
47. Garritz, A. (2001) Veinte años de la teoría del cambio conceptual. *Educación Química*, 12, 3, 123-126.
48. Glatthorn, A. A. (1997) Constructivismo: Principios básicos. *International Journal of Educational Reform*, 3, 4, 42-48.
49. Gómez Crespo, M. A.; Pozo, J. I.; Sanz, A.; Limón, M. (1992) La estructura de los conocimientos previos en Química: una propuesta de núcleos conceptuales. *Investigación en la escuela*, 18, 23-40.
50. Granell, Conrado (1915) *Tratado elemental de Química Moderna*, Casa editorial. Bailly-Bailliere, 2ª ed., Madrid, págs. 84, 85.
51. Gray, Harry B.; Haight, Gilbert P. (1969) *Principios básicos de Química*, Ed. Reverté, Barcelona, pág. 6-5.
52. Grosslight, L.; Unger, C.; Jay, E.; Smith, C. (1991) Understanding models and their use in science: conceptions of middles and high school students and experts. *J. Reserch in Science Teaching*, 28, 9, 799-822.

53. Hand, B. M.; Treagust, D. F. (1988) Application of a conceptual conflict teaching strategy to enhance student learning of acids and bases. *Research in Science Education*, 18, 53-63.
54. Harrison, A. G.; Treagust, D. F. (1996) Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching Chemistry. *Science Education*, 80, 5, 509-534.
55. Jiménez Liso, M. R.; De Manuel Torres, E.; González García, F.; Salinas López, F. (2000) La utilización del concepto del pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: aplicaciones en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 18, 3, 451-461.
56. Jiménez Liso, M. R.; De Manuel Torres, E.; Salinas López, F. (2002) Los procesos ácido-base en los textos actuales y antiguos (1868-1955). *Educación Química*, 13, 2, 90-100.
57. Jiménez Liso, M. R.; De Manuel Torres, E.; Salinas López, F. (2002) Las concepciones alternativas de los estudiantes universitarios sobre los procesos ácido-base. *Educación en Ciencias*, 3, 1, 18-24.
58. Jimeno, Emilio (1941) *Química General*, SAETA, Madrid, págs. 165-167.
59. Leach, J.; Scott, P. (1995) The demands of learning science concepts – issues of theory and practice. *School Science Review*, 76, 277, 47-51.
60. Lloréns Molina, Juan A. (1991) *Comenzando a aprender química. Ideas para el diseño curricular*, Ed. Visor, Madrid.
61. Lowry, T.M. (1923) The uniqueness of hydrogen. *Chemistry and Industry*, 42, 1, 43-47.
62. Lozano Lucea, J.J.; Vigata Campo, J.L. (1983) *Fundamentos de Química General*, Ed. Alambra, Madrid, págs. 416, 418, 419.
63. Luanco, José Ramón de (1893) *Compendio de las lecciones de Química General*, Establecimiento tipográfico de Redondo y Xumetra, 3ª. ed., Barcelona, págs. 37, 41.
64. Mahan, Bruce H. (1966) *College Chemistry*, Addison-Wesley, Palo Alto, págs. 186, 188.
65. Mañás Bonví, José (1911) *Química General*, Librería de Agustín Bosch, Barcelona, págs. 19, 20.
66. Mascareñas, Eugenio (1913) *Elementos de Química General*, Imprenta de P. Ortega, Barcelona, págs. 73, 74.
67. Masjuan, M. D.; Dou, J. M.; Pelegrín, J. (1999) *Química 2. Batxillerat*, Ed. Casals, Barcelona.
68. McQuarrie, D.A.; Rock, P.A. (1987) *General Chemistry*. Ed. Freeman, 3a. ed., New York, págs. 635,636.
69. Mendiola Ruiz, Onofre (1947) *Química General*, José Ruiz Alonso impresor, Madrid, págs. 42, 43.
70. Molinari, Hector (1934) *Química general y aplicada a la industria*, Gustavo Gili editor, 4ª ed., Barcelona, págs. 133, 134.
71. Morcillo, J. (1983) *Temas básicos de Química*, Ed. Alambra, 2ª. ed., Madrid, págs. 255, 256.
72. Nakhleh, M. B. (1992) Why some students don't learn chemistry. *J. Chem. Educ.*, 69, 3, 191-196.

73. Nakhleh, M. B. (1994) Students' models of matter in the context of acid-base chemistry. *J. Chem. Educ.*, 71, 6, 495-499.
74. Nakhleh, M. B.; Krajcik, J. S. (1993) A protocol analysis of the influence of technology on students' actions, verbal commentary, and thought processes during the performance of acid-base titrations. *J. Research in Science Teaching*, 30, 9, 1149-1168.
75. Nakhleh, M. B.; Krajcik, J. S. (1994) Influence of levels of information as presented by different technologies on students' understanding of acid, base and pH concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 10, 1077-1096.
76. Nurrenbern, S. C.; Pickering, M. (1987) Concept learning versus problem solving: in there a difference? *J. Chem. Educ.*, 64, 6, 508-510.
77. Oliva Martínez, J. M. (1999) Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 1, 93-107.
78. Ostwald, William (1917) *Elementos de Química*, Gustavo Gili editor, Barcelona, págs. 183, 198.
79. Oversby, J. (2000) Is it a weak acid or a weakly acidic solution? *School Science Review*, 81, 297, 89-91.
80. Paris, M. (1989) Esquemas conceptuales en torno a los ácidos y las bases. Implicaciones de la instrucciones en el proceso evolutivo de estos conceptos. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 2, 290-293.
81. Pauling, Linus (1949) *Química General*. Ed. Aguilar, Madrid, págs. 383, 413.
82. Pauling, Linus (1955) *Química General*, Ed. Aguilar, 3ª. ed., Madrid, pág. 114.
83. Pereira Chagas, A. (1999) Teorías ácido-base do século XX. *Química Nova na Escola*, 9, 28-30.
84. Pomés Ruiz, J.; González Guerrero, A. (1990) Estrategias de aprendizaje en la enseñanza de la química. *Educación Química*, 1, 4, 190-195.
85. Postigo, Luis (1935) *Química General Aplicada*, Ed. Ramón Sopena, Barcelona, págs. 103, 105.
86. Pozo, J. A.; Sanz, A.; Gómez Crespo, M. A.; Limón, M. (1991) Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, 1, 83-94.
87. Puig, Ignacio (1946) *Curso General de Química*, Manuel Marín editor, Barcelona, págs. 139, 140.
88. Quílez, J.; Lorente, S.; Sendra, F.; Chorro, F.; Enciso, E.; Parejo, C. *Química-Crédits 4, 5 i 6. Batxillerat II*. Ed. Ecir, Paterna.
89. Ratcliffe, M. (2002) What's difficult about A-level chemistry? *Education in Chemistry*, 39, 3, 76-80.
90. Ross, B.; Munby, H. (1991) Concept mapping and misconceptions: a study of high-school students' understandings of acids and bases. *Int. J. Sci. Educ.*, 13, 1, 11-23.

91. Schmidt, H. J. (1991) A label as a hidden persuader: chemists' neutralization concept. *International Journal of Science Education*, 13, 4, 459-471.
92. 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, 733-741.
93. Schmidt, H. J. (1997) Students' misconceptions – Looking for a pattern. *Science Education*, 81, 2, 123-135.
94. Schultz, E. (1997) Ionization or dissociation? *J. Chem. Educ.*, 74, 7, 868-869.
95. Schwarzenbach, Gerold (1946) *Química General e Inorgánica*, Manuel Marín editor, 2a. ed., Barcelona, págs. 103, 104.
96. Smith, Profesor; Kendall, James E. (1927) *Química General*, Manuel Marín editor, Barcelona, págs. 247, 248.
97. Stranks, D.R.; Heffernan, M.L.; Lee Dow, K.C.; McTigue, P.T.; Withers, G.R.A. (1967) *Química*. Selecciones científicas, Madrid, págs. 280, 281.
98. Taber, K. S. (1999) Alternative frameworks in chemistry. *Education in Chemistry*, 36, 5, 135-137.
99. Toplis, R. (1998) Ideas about acids and alcalis. *School Science Review*, 80, 291, 67-70.
100. Treagust, D. F.; Duit, R.; Nieswandt, M. (2000) Sources fo students' difficulties in learning Chemistry. *Educación Química*, 11, 2, 228-235.
101. Uson, Rafael (1970) *Química Universitaria Básica*, Ed. Alambra, Madrid, pág. 205.
102. Vidyapati, T. J.; Seetharamappa, J. (1995) Higher secondary school students' concepts of acids and bases. *School Science Review*, 77, 278, 82-84.
103. Vila Vendrell, Simón (1915) *Tratado teórico-experimental de Química General y Descriptiva*. Librería de Agustín Bosch, Barcelona, págs. 72, 74.
104. Vitoria, Eduardo (1918) *Manual de Química Moderna*, Tipografía Católica Pontificia, 4ª. ed, Barcelona, pág. 397.
105. Vitoria, Eduardo (1941) *Manual de Química Moderna*, Editorial «Tip. Cat. Casals», 13a. ed., Barcelona, págs. 15, 424.
106. Walden, Paul (1929) *Salts, Acids, and Bases: Electrolytes: Stereochemistry*, Mc Graw-Hill Book Company, New York.
107. Wandersee, J.H.; Mintzes, J.J.; Novak, J.D. (1994) "Research on alternative conceptions in science", en Gabel, D. *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, NSTA, 177-210 pp.
108. Zoller, U. (1990) Students' misunderstandings and misconceptions in college freshman chemistry (general and organic). *J. Research in Science Teaching*, 27, 10, 1053-1065.